PCT/JP2004/009476

日本国特許庁 28.6.2004
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: ２００３年 ６月２７日

出願番号
Application Number: 特願２００３－１８５９３０

[ST. 10/C]: [ＪＰ２００３－１８５９３０]

出願人
Applicant(s): 本田技研工業株式会社

RECEIVED
12 AUG 2004
WIPO PCT

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

２００４年 ７月２９日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小川洋

出証番号 出証特２００４－３０６７０３７

【書類名】　特許願
【整理番号】　PSK68891HW
【提出日】　平成15年 6月27日
【あて先】　特許庁長官殿
【国際特許分類】　B25J　5/00
　　G05D　1/02
【発明者】
　【住所又は居所】　埼玉県和光市中央１丁目４番１号　株式会社本田技術研究所内
　【氏名】　竹中　透
【発明者】
　【住所又は居所】　埼玉県和光市中央１丁目４番１号　株式会社本田技術研究所内
　【氏名】　松本　隆志
【発明者】
　【住所又は居所】　埼玉県和光市中央１丁目４番１号　株式会社本田技術研究所内
　【氏名】　吉池　孝英
【特許出願人】
　【識別番号】　000005326
　【氏名又は名称】　本田技研工業株式会社
〔代理人〕
　〔識別番号〕　100077805
　【弁理士】
　【氏名又は名称】　佐藤　辰彦
【選任した代理人】
　【識別番号】　100077665
　【弁理士】
　【氏名又は名称】　千葉　剛宏

【手数料の表示】

【予納台帳番号】　015174

【納付金額】　21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】　明細書　1

【物件名】　図面　1

【物件名】　要約書　1

【包括委任状番号】　9711295

【プルーフの要否】　要

【書類名】明細書

【発明の名称】

脚式移動ロボットの制御装置および歩容生成装置

【特許請求の範囲】

【請求項１】

上体から延設された脚体を運動させて移動する脚式移動ロボットの目標運動および目標床反力の瞬時値を、少なくとも該ロボットの運動と床反力との関係を表す動力学モデルを用いて逐次決定しつつ、その決定した目標運動および目標床反力の瞬時値に追従させるように前記ロボットの動作制御を行なう脚式移動ロボットの制御装置において、

前記ロボットに作用させる床反力モーメントの鉛直成分又は該床反力モーメントの床面法線方向成分又は該ロボットの角運動量変化率の鉛直成分又は該角運動量変化率の床面法線方向成分を制限対象量として、該制限対象量の許容範囲を設定する許容範囲設定手段と、

少なくとも鉛直軸回り又は床面法線軸回りのロボットの姿勢に関する目標状態量と該ロボットの実状態量との偏差と前記許容範囲とに基づいて、前記目標床反力に対応する制限対象量を前記許容範囲に収めつつ、前記目標運動に前記動力学モデル上で釣り合う床反力モーメントと前記目標床反力の床反力モーメントとの差が前記偏差を０に近づけるように前記目標運動および目標床反力の瞬時値を決定する目標瞬時値決定手段とを備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項２】

前記目標瞬時値決定手段は、前記目標運動の基準瞬時値を決定する手段と、前記偏差に応じて該偏差を０に近づけるための付加的な床反力モーメントである補償床反力モーメントを決定する手段と、少なくとも前記基準瞬時値に前記動力学モデル上で釣り合う床反力モーメントと前記補償床反力モーメントとに応じて目標床反力の仮瞬時値に対応する前記制限対象量の仮値を決定する手段と、該制限対象量の仮値を前記許容範囲に制限してなる制限済制限対象量に対応する床反力モーメントを前記目標床反力の床反力モーメント瞬時値として決定する手段と、

その決定した床反力モーメント瞬時値と基準瞬時値に前記動力学モデル上で釣り合う床反力モーメントと前記補償床反力モーメントとに応じて前記基準瞬時値の修正量を決定し、その決定した修正量に応じて該基準瞬時値を修正することにより前記目標運動の瞬時値を決定する手段とを備えることを特徴とする請求項１記載の脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項３】

前記制限対象量の仮値を決定する手段は、前記動力学モデルの状態量を所定の状態量に近づけるための付加的な床反力モーメントであるモデル補正床反力モーメントを決定する手段を備え、少なくとも前記基準瞬時値に前記動力学モデル上で釣り合う床反力モーメントと前記補償床反力モーメントと前記モデル補正床反力モーメントとに応じて前記制限対象量の仮値を決定することを特徴とする請求項２記載の脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項４】

前記基準瞬時値の修正量は、前記ロボットの角運動量変化率の鉛直軸回り又は床面法線軸回りの成分を変化させる運動の修正量であることを特徴とする請求項２又は３記載の脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項５】

前記ロボットの角運動量変化率の鉛直軸回り又は床面法線軸回りの成分を変化させる運動は、該ロボットの上体および／又は該上体から延設された腕体の運動であることを特徴とする請求項４記載の脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項６】

上体から延設された脚体を運動させて移動する脚式移動ロボットの目標運動の瞬時値を、少なくとも該ロボットの運動と床反力との関係を表す動力学モデルを用いて逐次決定しつつ、その決定した目標運動に追従させるように前記ロボットの動作制御を行なう脚式移動ロボットの制御装置において、

前記ロボットに作用させる床反力モーメントの鉛直成分又は該床反力モーメントの床面法線方向成分又は該ロボットの角運動量変化率の鉛直成分又は該角運動量変化率の床面法線方向成分を制限対象量として、該制限対象量の許容範囲を設定する許容範囲設定手段と、

少なくとも鉛直軸回り又は床面法線軸回りのロボットの姿勢に関する目標状態量と該ロボットの実状態量との偏差に応じて該偏差を０に近づけるための付加的な床反力モーメントである補償床反力モーメントを決定する補償床反力モーメント決定手段と、

前記目標運動に前記動力学モデル上で釣り合う床反力モーメントと前記補償床反力モーメントとの和に対応する前記制限対象量が前記許容範囲に収まるように目標運動の瞬時値を決定する目標瞬時値決定手段とを備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項７】

前記目標運動に前記動力学モデル上で釣り合う床反力モーメントと前記補償床反力モーメントとの和を目標床反力モーメントとし、その目標床反力モーメントに追従させるようにロボットの動作制御を行なう手段を備えたことを特徴とする請求項６記載の脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項８】

前記目標瞬時値決定手段は、前記目標運動に前記動力学モデル上で釣り合う床反力モーメントと前記補償床反力モーメントとの和に対応する前記制限対象量を前記許容範囲に収めるために、前記ロボットの運動のうち、前記ロボットの角運動量変化率の鉛直軸回り又は床面法線軸回りの成分を変化させる運動を調整して前記目標運動の瞬時値を決定することを特徴とする請求項６又は７記載の脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項９】

前記ロボットの角運動量変化率の鉛直軸回り又は床面法線軸回りの成分を変化させる運動は、該ロボットの上体および／又は該上体から延設された腕体の運動であることを特徴とする請求項８記載の脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項１０】

上体から延設された脚体を運動させて移動する脚式移動ロボットの目標運動の瞬時値を、少なくとも該ロボットの運動と床反力との関係を表す動力学モデルを用いて逐次決定しつつ、その決定した目標運動に追従させるように前記ロボットの動作制御を行なう脚式移動ロボットの制御装置において、

前記ロボットに作用させる床反力モーメントの鉛直成分又は該床反力モーメントの床面法線方向成分又は該ロボットの角運動量変化率の鉛直成分又は該角運動量変化率の床面法線方向成分を制限対象量として、該制限対象量の許容範囲を設定する許容範囲設定手段と、

前記目標運動の基準瞬時値を逐次決定する基準瞬時値決定手段と、

少なくとも鉛直軸回り又は床面法線軸回りのロボットの姿勢に関する目標状態量と該ロボットの実状態量との偏差に応じて該偏差を０に近づけるための付加的な床反力モーメントである補償床反力モーメントを決定する補償床反力モーメント決定手段と、

前記目標運動の基準瞬時値に前記動力学モデル上で釣り合う床反力モーメントと前記補償床反力モーメントとの和のうちの前記許容範囲を逸脱した分をモーメント修正操作量とし、そのモーメント修正操作量に応じて前記目標運動の基準瞬時値を瞬時値を修正することにより前記目標運動の瞬時値を決定する目標瞬時値決定手段とを備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項１１】

前記目標瞬時値決定手段は、前記モーメント修正操作量をローパスフィルタに通すことにより前記目標運動の基準瞬時値の修正量を求め、その求めた修正量により該基準瞬時値を修正することにより前記目標運動の瞬時値を決定することを特徴とする請求項１０記載の脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項１２】

前記目標運動の基準瞬時値に前記動力学モデル上で釣り合う床反力モーメントと前記補償床反力モーメントとの和を前記許容範囲により制限してなる床反力モーメントを目標床反力モーメントとし、その目標床反力モーメントに追従させるようにロボットの動作制御を行なう手段を備えたことを特徴とする請求項１０又は１１記載の脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項１３】

前記目標瞬時値決定手段は、前記ロボットの角運動量変化率の鉛直軸回り又は床面法線軸回りの成分を変化させる運動を前記基準瞬時値から修正することにより前記目標運動の瞬時値を決定することを特徴とする請求項１０～１２のいずれ

か１項に記載の脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項１４】

前記ロボットの姿勢に関する状態量は、該ロボットの上体のヨー角又はヨー角速度を含むことを特徴とする請求項１～１３のいずれか１項に記載の脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項１５】

前記ロボットの滑りの発生を判断する滑り判断手段を備え、前記許容範囲設定手段は、該滑り判断手段の判断結果に応じて前記許容範囲を可変的に設定することを特徴とする請求項１～１４のいずれか１項に記載の脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項１６】

上体から延設された複数の脚体を運動させて移動する脚式移動ロボットの目標歩容を生成する歩容生成装置において、

前記ロボットに作用させる床反力モーメントの鉛直成分又は該床反力モーメントの床面法線方向成分又は該ロボットの角運動量変化率の鉛直成分又は該角運動量変化率の床面法線方向成分を制限対象量として、該制限対象量の許容範囲を設定する許容範囲設定手段と、

前記目標歩容を構成する目標運動の仮瞬時値を決定する仮瞬時値決定手段と、

少なくとも前記目標運動の仮瞬時値を、前記ロボットの運動と前記制限対象量との関係を表す動力学モデルに入力し、該動力学モデルの出力としてのモデル制限対象量瞬時値を求めるモデル演算手段と、

少なくとも該モデル制限対象量瞬時値を前記許容範囲に収めるように前記目標運動の仮瞬時値を補正して目標運動の瞬時値を決定する目標瞬時値決定手段とを備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項１７】

前記目標瞬時値決定手段は、前記目標運動の瞬時値に前記動力学モデル上で略釣り合う制限対象量に対応する床反力瞬時値を前記目標歩容を構成する目標床反力瞬時値として決定することを特徴とする請求項１６記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項１８】

前記目標瞬時値決定手段は、前記ロボットの摂動運動と制限対象量摂動分との関係を表す摂動モデルと、

少なくともモデル制限対象量瞬時値と前記許容範囲とに基づき前記摂動モデルの制限対象量摂動分を操作する摂動モデル操作量を決定する手段と、

その決定した摂動モデル操作量を前記摂動モデルに入力することにより前記目標運動の補正量を求める手段と、

該補正量により前記目標運動の仮瞬時値を補正することにより前記目標運動の瞬時値を決定する手段とを備えることを特徴とする請求項１６又は１７記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項１９】

前記摂動モデル操作量を決定する手段は、前記摂動モデル操作量を０と仮定した場合の前記制限対象量の推定値を少なくとも前記モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値に基づき決定する手段と、その決定した推定値を前記許容範囲と比較し、その比較に基づき該許容範囲内に制限してなる制限済制限対象量を決定する手段とを備え、少なくとも前記モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値と前記制限済制限対象量との差に基づき前記摂動モデル操作量を決定することを特徴とする請求項１８記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項２０】

少なくとも前記摂動モデルの状態量に応じて前記摂動モデル操作量の要求値を決定する手段を備え、前記摂動モデル操作量を決定する手段は、前記モデル制限対象量瞬時値、前記許容範囲、及び前記要求値に基づき前記摂動モデルに入力する摂動モデル操作量を決定することを特徴とする請求項１８記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項２１】

前記摂動モデル操作量の要求値を前記摂動モデルの状態量と該状態量に対する目標値との偏差に応じたフィードバック制御則により逐次決定する手段を備えたことを特徴とする請求項２０記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項２２】

前記摂動モデル操作量を決定する手段は、前記摂動モデル操作量を前記要求値に一致させたと仮定した場合の前記制限対象量の推定値を少なくとも前記モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値と前記要求値とに基づき決定する手段と、その決定した推定値を前記許容範囲と比較し、その比較に基づき該許容範囲に制限してなる制限済制限対象量を決定する手段とを備え、少なくとも前記モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値と前記制限済制限対象量との差に基づき前記摂動モデル操作量を決定することを特徴とする請求項２０又は２１記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項２３】

前記目標瞬時値決定手段は、前記制限済制限対象量に対応する床反力モーメントを前記目標歩容を構成する目標床反力モーメントの瞬時値として決定することを特徴とする請求項１９又は２２記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項２４】

前記目標瞬時値決定手段は、前記目標運動の補正量を前記動力学モデルに追加的に入力する手段を備え、前記摂動モデル操作量を決定する手段は、前記摂動モデル操作量を０と仮定した場合に前記動力学モデルが出力するモデル制限対象量瞬時値の推定値を少なくとも前記モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値に基づいて推定する手段と、そのモデル制限対象量瞬時値の推定値を前記許容範囲と比較し、その比較に基づき該許容範囲に制限してなる制限済制限対象量を決定する手段とを備え、少なくとも前記モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値と前記制限済制限対象量との差に基づき前記摂動モデル操作量を決定することを特徴とする請求項１８記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項２５】

前記目標瞬時値決定手段は、前記目標運動の補正量を前記動力学モデルに追加的に入力する手段を備え、前記摂動モデル操作量を決定する手段は、前記摂動モデル操作量を前記要求値に一致させたと仮定した場合に前記動力学モデルが出力するモデル制限対象量瞬時値の推定値を少なくとも前記モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値と前記要求値とに基づいて推定する手段と、そのモデル制限対象量瞬時値の推定値を前記許容範囲と比較し、その比較に基づき該許容範

囲に制限してなる制限済制限対象量を決定する手段とを備え、少なくとも前記モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値と前記制限済制限対象量との差に基づき前記摂動モデル操作量を決定することを特徴とする請求項２０又は２１記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項２６】

前記目標瞬時値決定手段は、前記制限済制限対象量に対応する床反力モーメントを前記目標歩容を構成する目標床反力モーメントの瞬時値として決定することを特徴とする請求項２４又は２５記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項２７】

前記摂動モデルは、ロボットの角運動量変化率の鉛直軸回り又は床面法線軸回りの成分を摂動させる摂動運動と前記制限対象量摂動分との関係を表すモデルであることを特徴とする請求項１８～２６のいずれか１項に記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項２８】

前記摂動運動は、該ロボットの重心位置を略一定に維持する摂動運動であることを特徴とする請求項２７記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項２９】

前記摂動運動は、ロボットの上体および／又は該上体から延設された腕体の摂動運動であることを特徴とする請求項２７又は２８記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項３０】

上体から延設された複数の脚体を運動させて移動する脚式移動ロボットの目標歩容を生成する歩容生成装置において、

前記ロボットに作用させる床反力モーメントの鉛直成分又は該床反力モーメントの床面法線方向成分又は該ロボットの角運動量変化率の鉛直成分又は該角運動量変化率の床面法線方向成分を制限対象量として、該制限対象量の許容範囲を設定する許容範囲設定手段と、

前記目標歩容を構成する目標運動及び目標床反力のうちの少なくとも目標床反力の仮瞬時値を逐次決定する目標床反力仮瞬時値決定手段と、

少なくとも該目標床反力の仮瞬時値を、前記ロボットの運動と床反力との関係を表す第１動力学モデルに入力し、該第１動力学モデルの出力としての目標運動の仮瞬時値を求める第１モデル演算手段と、

少なくとも前記目標運動の仮瞬時値を、前記ロボットの運動と前記制限対象量との関係を表す第２動力学モデルに入力し、該第２動力学モデルの出力としてのモデル制限対象量瞬時値を求める第２モデル演算手段と、

少なくとも該モデル制限対象量瞬時値を前記許容範囲に収めるように目標床反力の床反力モーメント補正量を求め、その求めた床反力モーメント補正量を前記第１動力学モデルに追加的に入力する第１モデル入力補正手段とを備え、

少なくとも前記第２動力学モデルの入力に基づいて前記目標運動の目標瞬時値を決定することを特徴とする脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項３１】

前記目標瞬時値決定手段は、前記第２動力学モデルが出力する前記モデル制限対象量瞬時値に略対応する床反力モーメントを前記目標歩容を構成する目標床反力モーメントの瞬時値として決定することを特徴とする請求項３０記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項３２】

前記第１モデル入力補正手段は、少なくとも前記目標床反力の床反力モーメント補正量を０と仮定した場合に前記第２動力学モデルが出力するモデル制限対象量瞬時値の推定値を少なくとも前記第２モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値とに基づいて推定する手段と、そのモデル制限対象量瞬時値の推定値を前記許容範囲と比較し、その比較に基づき該許容範囲に制限してなる制限済制限対象量を決定する手段とを備え、少なくとも前記モデル制限対象量瞬時値と前記制限済制限対象量との差に基づき前記床反力モーメン補正量を決定することを特徴とする請求項３０又は３１記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項３３】

前記目標床反力の床反力モーメント補正量の要求値を決定する手段を備え、

前記第１モデル入力補正手段は、少なくとも前記目標床反力の床反力モーメント補正量を前記要求値に一致させたと仮定した場合に前記第２動力学モデルが出

力するモデル制限対象量瞬時値の推定値を少なくとも前記第２モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値と前記要求値とに基づいて推定する手段と、そのモデル制限対象量瞬時値の推定値を前記許容範囲と比較し、その比較に基づき該許容範囲に制限してなる制限済制限対象量を決定する手段とを備え、少なくとも前記モデル制限対象量瞬時値と前記制限済制限対象量との差に基づき前記床反力モーメン補正量を決定することを特徴とする請求項３０又は３１記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項３４】

少なくとも前記第２モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値と前記許容範囲とに基づき前記目標運動の補正量を求め、その求めた補正量を前記第２動力学モデルに追加的に入力する第２モデル入力補正手段を備えたことを特徴とする請求項３０～３３のいずれか１項に記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項３５】

前記ロボットの摂動運動と制限対象量摂動分との関係を表す摂動モデルと、

少なくとも前記第２モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値と前記許容範囲とに基づき床反力モーメントの操作量を決定する手段と、

その決定した床反力モーメントの操作量を、前記第１動力学モデルに入力する前記目標床反力の床反力モーメント補正量と前記摂動モデルに入力する摂動モデル操作量とに分配する分配手段とを備え、

前記第２モデル入力補正手段は、前記摂動モデル操作量を前記摂動モデルに入力することにより前記目標運動の補正量を求めることを特徴とする請求項３４記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項３６】

少なくとも前記摂動モデルの状態量に応じて前記床反力モーメントの操作量の要求値を決定する手段を備え、前記床反力モーメントの操作量を決定する手段は、前記第２モデル演算手段が求めた前記モデル制限対象量瞬時値と前記許容範囲と前記要求値とに基づき前記分配手段に与える床反力モーメントの操作量を決定することを特徴とする請求項３５記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項３７】

前記床反力モーメントの操作量の要求値を前記摂動モデルの状態量と該状態量に対する目標値との偏差に応じたフィードバック制御則により逐次決定する手段を備えたことを特徴とする請求項３６記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項３８】

前記摂動モデルは、ロボットの角運動量変化率の鉛直軸回り又は床面法線軸回りの成分を摂動させる摂動運動と前記制限対象量摂動分との関係を表すモデルであることを特徴とする請求項３５～３７のいずれか１項に記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項３９】

前記摂動運動は、該ロボットの重心位置を略一定に維持する摂動運動であることを特徴とする請求項３８記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項４０】

前記摂動運動は、ロボットの上体および／又は該上体から延設された腕体の摂動運動であることを特徴とする請求項３８又は３９記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項４１】

前記床反力モーメントの操作量を決定する手段は、前記摂動モデル操作量を０と仮定した場合に前記第２動力学モデルが出力するモデル制限対象量瞬時値の推定値を少なくとも前記第２モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値に基づいて推定する手段と、そのモデル制限対象量瞬時値の推定値を前記許容範囲と比較し、その比較に基づき該許容範囲に制限してなる制限済制限対象量を決定する手段とを備え、少なくとも前記第２モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値と前記制限済制限対象量との差に基づき前記床反力モーメントの操作量を決定することを特徴とする請求項３５記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項４２】

前記床反力モーメントの操作量を決定する手段は、前記摂動モデル操作量を前記要求値に一致させたと仮定した場合に前記第２動力学モデルが出力するモデル制限対象量瞬時値の推定値を少なくとも前記第２モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値と前記要求値とに基づいて推定する手段と、そのモデル制限対

象量瞬時値の推定値を前記許容範囲と比較し、その比較に基づき該許容範囲に制限してなる制限済制限対象量を決定する手段とを備え、少なくとも前記第２モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値と前記制限済制限対象量との差に基づき前記床反力モーメントの操作量を決定することを特徴とする請求項３６記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項４３】

上体から延設された複数の脚体を運動させて移動する脚式移動ロボットの目標歩容を生成する歩容生成装置において、

前記ロボットに作用させる床反力モーメントの鉛直成分又は該床反力モーメントの床面法線方向成分又は該ロボットの角運動量変化率の鉛直成分又は該角運動量変化率の床面法線方向成分を制限対象量として、該制限対象量の許容範囲を設定する許容範囲設定手段と、

前記目標歩容を構成する目標運動及び目標床反力のうちの少なくとも目標床反力の仮瞬時値を逐次決定する目標床反力仮瞬時値決定手段と、

少なくとも該目標床反力の仮瞬時値を、前記ロボットの運動と床反力との関係を表す第１動力学モデルに入力し、該第１動力学モデルの出力としての目標運動の第１仮瞬時値を求める第１モデル演算手段と、

少なくとも前記目標床反力の仮瞬時値を、前記ロボットの運動と前記制限対象量との関係を表す第２動力学モデルに入力し、該第２動力学モデルの出力としての目標運動の第２仮瞬時値を、該目標運動の第２仮瞬時値に前記第２動力学モデル上で略釣り合う制限対象量瞬時値が前記許容範囲内に収まるように求める第２モデル演算手段と、

少なくとも前記目標運動の第１仮瞬時値と第２仮瞬時値との差に基づいて、該差が零に近づくように床反力モーメントの操作量を求める操作量算出手段と、

該床反力モーメントの操作量を前記第１動力学モデル及び第２動力学モデルのうちの少なくともいずれか一方に追加的に入力するモデル入力補正手段とを備え、

前記目標運動の第２仮瞬時値を該目標運動の目標瞬時値として決定することを特徴とする脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項４４】

前記目標運動の第１仮瞬時値と第２仮瞬時値との差は、前記ロボットの所定の部位の姿勢の、鉛直軸回り又は床面法線軸回りの状態量の差を含むことを特徴とする請求項４３記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項４５】

少なくとも前記目標床反力の仮瞬時値を、前記ロボットの運動と床反力との関係を表す第３動力学モデルに入力し、該第３動力学モデルの出力としての目標運動の第３仮瞬時値を求める第３モデル演算手段を備え、前記目標床反力の補正量の要求値を決定する手段は、前記決定した前記目標運動の目標瞬時値と前記目標運動の第３仮瞬時値との差に基づいて、該差が零に近づくように前記要求値を決定することを特徴とする請求項３３記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項４６】

前記ロボットの滑りの発生を判断する滑り判断手段を備え、前記許容範囲設定手段は、該滑り判断手段の判断結果に応じて前記許容範囲を可変的に設定することを特徴とする請求項１６～４５のいずれか１項に記載の脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項４７】

上体から延設された複数の脚体を運動させて移動する脚式移動ロボットの目標歩容を生成する歩容生成装置において、

前記ロボットの滑りの発生を判断する滑り判断手段と、

前記ロボットに作用させる並進床反力の水平成分又は該並進床反力の床面平行成分又は該ロボットの全体重心加速度の水平成分又は該全体重心加速度の床面平行成分の許容範囲を前記滑り判断手段の判断結果に応じて可変的に設定する許容範囲設定手段と、

前記ロボットに作用する重力と慣性力との合力が所定の動力学的平衡条件を満たすように前記目標歩容の仮目標運動としての仮運動を決定する仮運動決定手段と、

前記目標歩容の仮運動により定まるロボットの並進床反力の水平成分又は該並進床反力の床面平行成分又は全体重心加速度の水平成分又は全体重心加速度の床

面平行成分が前記許容範囲を逸脱したとき、該並進床反力の水平成分又は該並進床反力の床面平行成分又は全体重心加速度の水平成分又は該全体重心加速度の床面平行成分を前記許容範囲内に制限しつつ、前記動力学的平衡条件を満たすようにロボットの重心回りの角運動量変化率を前記仮運動から変化させることにより該仮運動を修正して目標歩容の運動を決定する仮運動修正手段とを備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項４８】

上体から延設された複数の脚体を運動させて移動する脚式移動ロボットの目標歩容を生成する歩容生成装置において、

前記ロボットの滑りの発生を判断する滑り判断手段と、

前記ロボットに作用させる床反力モーメントの鉛直成分又は該床反力モーメントの床面法線方向成分又は該ロボットの角運動量変化率の鉛直成分又は該角運動量変化率の床面法線方向成分を制限対象量として、該制限対象量の許容範囲を前記滑り判断手段の判断結果に応じて可変的に設定する許容範囲設定手段と、

前記目標歩容の仮目標運動としての仮運動を決定する仮運動決定手段と、

前記目標歩容の仮運動により定まる前記制限対象量が前記許容範囲を逸脱したとき、該制限対象量を前記許容範囲内に制限しつつ、ロボットの角運動量変化率を前記仮運動から変化させるように該仮運動を修正して目標歩容の運動を決定する仮運動修正手段とを備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの歩容生成装置。

【請求項４９】

上体から延設された脚体を運動させて移動する脚式移動ロボットの目標運動の瞬時値を、少なくとも該ロボットの運動と床反力との関係を表す動力学モデルを用いて逐次決定しつつ、その決定した目標運動の瞬時値に追従させるように前記ロボットの動作制御を行なう脚式移動ロボットの制御装置において、

前記ロボットの滑りの発生を判断する滑り判断手段と、

少なくとも前記ロボットに作用させる並進床反力水平成分又は並進床反力の床面平行成分又は該ロボットの全体重心加速度又は全体重心加速度の床面平行成分を制限対象量とし、該制限対象量の許容範囲を前記滑り判断手段の判断結果に応

じて可変的に設定する許容範囲設定手段と、

少なくとも前記決定された目標運動の瞬時値に対応するロボットの姿勢の目標状態量と該ロボットの姿勢の実状態量との偏差に基づいて、前記目標運動の新たな瞬時値を、該新たな瞬時値に対応して前記動力学モデルに基づき定まる前記制限対象量が前記許容範囲内に収まるように決定する目標瞬時値決定手段とを備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの制御装置。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

本発明は、脚式移動ロボットの歩行のみならず、走行にも適した歩容生成装置および制御装置に関する。

【０００２】

【従来の技術】

脚式移動ロボット、例えば２足移動ロボットの移動動作を行なわせるための歩容（目標歩容）の生成は、従来、主にロボットにスムーズな歩行動作を行なわせる歩容（歩行歩容）を生成することを主目的として行なわれてきた。しかし、近年では、脚式移動ロボットの開発が進むにつれて、該ロボットに歩行だけでなく、走行も行なわせることができる歩容を生成することが望まれている。さらには、十分な摩擦力を発生できない滑りやすい床（いわゆる低ミュー路）上でもロボットを支障なく移動させることができる歩容を生成することが望まれている。

【０００３】

尚、「歩容」という漢字に「歩」が入っているので歩行に限定されると誤解されやすいが、本来「歩容」とは、トロットなど、馬の走行形態を指す言葉として用いられているように、走行も含んだ概念である。

【０００４】

ここで、歩行と走行の特徴の違いを説明しておく。

同時に全脚が空中に存在する瞬間がある移動形態を走行と定義することが一般的ではある。しかし、この定義によって歩行と走行が明確に区別できるとは限らない。たとえば、速いジョギングでは、ほとんどの人間において、同時に全脚が空

中に存在する瞬間があるが、遅いジョギングでは、かなりの人間において、常にいずれかの脚が接地している。速いジョギングは走行であるのに遅いジョギングは歩行である、と定義するのは、感覚的に少し無理がある。

【０００５】

図３７に、典型的な走行における上体鉛直位置と床反力鉛直成分（左右の脚に作用する床反力鉛直成分の和）のパターンを示し、図３８には、典型的な歩行における上体鉛直位置と床反力鉛直成分のパターンを示す。

【０００６】

尚、上体鉛直位置速度は、上体代表点の鉛直位置とその速度を意味する。上体水平位置速度は、上体代表点の水平位置とその速度を意味する。上体鉛直位置速度と上体水平位置速度を合わせて、上体位置速度と呼ぶ。

【０００７】

また、「床反力鉛直成分」は、厳密には、床反力の鉛直軸まわりのモーメント成分と区別するために、「並進床反力鉛直成分」と記述すべきであるが、言葉が長くなるので、ここでは「並進」を省略する。以降、「並進床反力水平成分」も「並進」を省略して「床反力水平成分」と記述する。

【０００８】

まず上体の動きを見てみると、歩行においては、支持脚の上を上体が通過する瞬間に上体は最も高く、走行においては、この瞬間に最も低い。すなわち、歩行と走行では、上体の上下動パターンの位相が反転している。

【０００９】

一方、床反力に関しては、歩行では比較的一定であるのに対し、走行においては、大きく変動し、支持脚の上を上体が通過する瞬間に床反力は最も大きい。また、当然のことながら、同時に全脚が空中に存在する瞬間において床反力は０になっている。より詳しく観察すると、走行では、支持脚を縮めた量にほぼ比例した大きさの床反力が発生する。言いかえると、走行では、脚をばねのように使って跳ねながら移動していると言える。

【００１０】

遅いジョギングでは、典型的な走行と同じ上体上下動の位相を持つ。また、遅

いジョギングでは、同時に全脚が空中に存在する瞬間がない場合が多いが、その場合でも、支持脚と遊脚の切り換えが行われる瞬間において、床反力は、完全には０にならないがほぼ０になっている。

【００１１】

したがって、以上のように、上体の上下動や床反力のパターンの上記特徴から歩行と走行を区別した方が、遅いジョギングも走行とみなされ、感覚とも一致して、より適切と言えよう。

【００１２】

特に、最も特徴的な点で両者を区別するならば、走行とは、支持脚の切り換えが行われる瞬間において、床反力が０またはほぼ０になる移動形態であり、歩行は、それ以外の移動形態（床反力鉛直成分が比較的一定）であると言えよう。

【００１３】

ところで、本出願人は先に特願２０００－３５２０１１において、脚式移動ロボットの床反力を含む歩容を、動力学的平衡条件（目標歩容の重力と慣性力と床反力との釣り合い条件のことである。狭義では、目標歩容の運動による重力と慣性力の合力が目標ＺＭＰまわりに作用するモーメントが０であること。詳細は後述する。）をほぼ満足しながら、自在かつリアルタイムに生成する技術を先に提案した。この技術や、特開平１０－８６０８１号公報、特開平１０－２７７９６９号公報などにて本出願人が提案してきた一連の脚式移動ロボットの制御装置は、歩行のみならず走行にも適用できるものである。

【００１４】

しかしながら、これらの技術においては、目標歩容のＺＭＰまわりの床反力モーメント鉛直成分の大きさを考慮していなかったので、この成分が過大となって、摩擦の限界を超えて、スピンするおそれがあった。なお、スピンとは、実際のロボットのヨー角（鉛直軸まわり回転角）速度が目標ヨー角速度からずれることを言う。

【００１５】

摩擦係数の高い床面を歩行する場合（この場合、少なくとも１つの脚体は常時接地している）には、床反力鉛直成分が常にほぼ自重相当であるので、摩擦力（

すなわち床反力モーメント鉛直成分）の限界が高い。このため、スピンは発生しにくい。

【００１６】

しかるに、走行においては、床反力鉛直成分が０になるまたは０に近くなる時があるので、その時には、たとえ摩擦係数が高くとも、床面摩擦力モーメント鉛直成分の限界が０になるまたは０に近くなる。したがって、目標歩容の床反力モーメント鉛直成分が限界を超え、スピンして転倒する恐れがあった。

【００１７】

また、歩行の場合でも、床の摩擦係数が低い場合には、スピンして転倒する恐れがあった。

【００１８】

一方、本出願人は先にＰＣＴ出願ＰＣＴ／ＪＰ０２／１３５９６の実施形態において、目標歩容において腕以外が発生するモーメント鉛直成分を打ち消すように、腕を振るようにした。

【００１９】

この場合には、目標歩容のモーメント鉛直成分はほぼ０になるが、脚を激しく振って移動する場合には、腕の振りも激しくなる。

【００２０】

一般的に、人間型ロボットにおいては、腕の質量は、脚の質量に較べて小さい。したがって、モーメント鉛直成分を完全に打ち消すためには、腕は、脚の振りよりも激しく振る必要がある。

【００２１】

しかし、腕の動作範囲には限界があり、また、腕のアクチュエータのトルクおよび速度にも限界があるので、脚を激しく振って移動する場合には、腕によってモーメント鉛直成分を完全に打ち消すことができなくなる場合があった。

【００２２】

また、目標歩容において腕以外が発生するモーメント鉛直成分を完全に打ち消すように、腕を振るようにすると、腕振りの中心が徐々にオフセットしていき、左右の腕の振りが非対称になる恐れがあった。具体的には、ロボットが左旋回す

る場合に、腕以外が発生するモーメント鉛直成分を完全に打ち消すように、腕を振るようにすると、脚と胴体が左を向いたことによる角運動量変化を打ち消すために、左腕は前には大きく後ろには小さく振られ、右の腕は前には小さく後ろには大きく振られるようになる。したがって、この場合には、左腕は、前側の振り動作限界に達する恐れが生じ、右腕は、後ろ側の振り動作限界に達する恐れが生じる。

【００２３】

また、さらに左右の腕の振りが非対称にならないように、腕振りの中心を戻そうとすると、この動作によって、床反力モーメント鉛直成分が発生し、目標歩容の床反力モーメント鉛直成分が限界を超え、スピンする恐れがあった。

【００２４】

【特許文献１】

特開平１０－８６０８１号公報

【特許文献２】

特開平１０－２７７９６９号公報

【００２５】

【発明が解決しようとする課題】

したがって、本発明の目的は、上記の問題点を解消し、歩行、走行等の歩容形態や床面の摩擦状態によらずに、より一層好適な歩容を生成することができる歩容生成装置および制御装置を提供することにある。

【００２６】

より具体的には、本発明は、摩擦力モーメント鉛直成分の限界を考慮し、スピンおよびそれに起因する転倒を防止することが可能な歩容を生成できる歩容生成装置および制御装置を提供することを目的とする。そして、空中時、あるいは摩擦力の限界が極めて低い時にでも、動力学的平衡条件を満足する歩容の運動パターンを生成できる歩容生成装置および制御装置を提供することを目的とする。さらに、目標歩容の左右非対称性が大きくなることを防止して、動作の継続性を確保することを目的とする。

【００２７】

【課題を解決するための手段】

本発明の脚式移動ロボットの制御装置の第１態様は、かかる目的を達成するために、上体から延設された脚体を運動させて移動する脚式移動ロボットの目標運動および目標床反力の瞬時値を、少なくとも該ロボットの運動と床反力との関係を表す動力学モデルを用いて逐次決定しつつ、その決定した目標運動および目標床反力の瞬時値に追従させるように前記ロボットの動作制御を行なう脚式移動ロボットの制御装置において、前記ロボットに作用させる床反力モーメントの鉛直成分又は該床反力モーメントの床面法線方向成分又は該ロボットの角運動量変化率の鉛直成分又は該角運動量変化率の床面法線方向成分を制限対象量として、該制限対象量の許容範囲を設定する許容範囲設定手段と、少なくとも鉛直軸回り又は床面法線軸回りのロボットの姿勢に関する目標状態量と該ロボットの実状態量との偏差と前記許容範囲とに基づいて、前記目標床反力に対応する制限対象量を前記許容範囲に収めつつ、前記目標運動に前記動力学モデル上で釣り合う床反力モーメントと前記目標床反力の床反力モーメントとの差が前記偏差を０に近づけるように前記目標運動および目標床反力の瞬時値を決定する目標瞬時値決定手段とを備えたことを特徴とする（請求項１）。

【００２８】

かかる本発明によれば、少なくとも鉛直軸回り又は床面法線軸回りのロボットの姿勢に関する目標状態量と該ロボットの実状態量との偏差と前記許容範囲とに基づいて、前記目標床反力に対応する制限対象量を前記許容範囲に収めつつ、前記目標運動に前記動力学モデル上で釣り合う床反力モーメントと前記目標床反力の床反力モーメントとの差が前記偏差を０に近づけるように前記目標運動および目標床反力の瞬時値を決定するので、ロボットの姿勢の安定性を保ちながら、ロボットに作用する床反力モーメント鉛直成分等の制限対象量を許容範囲内に収めることができる。それにより、摩擦力モーメント鉛直成分の限界を考慮し、スピンおよびそれに起因する転倒を防止することができる。

【００２９】

かかる本発明の制御装置では、前記目標瞬時値決定手段は、前記目標運動の基準瞬時値を決定する手段と、前記偏差に応じて該偏差を０に近づけるための付加

的な床反力モーメントである補償床反力モーメントを決定する手段と、少なくとも前記基準瞬時値に前記動力学モデル上で釣り合う床反力モーメントと前記補償床反力モーメントとに応じて目標床反力の仮瞬時値に対応する前記制限対象量の仮値を決定する手段と、該制限対象量の仮値を前記許容範囲に制限してなる制限済制限対象量に対応する床反力モーメントを前記目標床反力の床反力モーメント瞬時値として決定する手段と、その決定した床反力モーメント瞬時値と基準瞬時値に前記動力学モデル上で釣り合う床反力モーメントと前記補償床反力モーメントとに応じて前記基準瞬時値の修正量を決定し、その決定した修正量に応じて該基準瞬時値を修正することにより前記目標運動の瞬時値を決定する手段とを備えることが好ましい（請求項２）。

【００３０】

この場合さらに、前記制限対象量の仮値を決定する手段は、前記動力学モデルの状態量を所定の状態量に近づけるための付加的な床反力モーメントであるモデル補正床反力モーメントを決定する手段を備え、少なくとも前記基準瞬時値に前記動力学モデル上で釣り合う床反力モーメントと前記補償床反力モーメントと前記モデル補正床反力モーメントとに応じて前記制限対象量の仮値を決定することが好ましい（請求項３）。

【００３１】

さらに、前記基準瞬時値の修正量は、前記ロボットの角運動量変化率の鉛直軸回り又は床面法線軸回りの成分を変化させる運動の修正量であることが好適である（請求項４）。さらには、前記ロボットの角運動量変化率の鉛直軸回り又は床面法線軸回りの成分を変化させる運動は、該ロボットの上体および／又は該上体から延設された腕体の運動であることが好適である（請求項５）。

【００３２】

また、本発明の脚式移動ロボットの制御装置の第２態様は、上体から延設された脚体を運動させて移動する脚式移動ロボットの目標運動の瞬時値を、少なくとも該ロボットの運動と床反力との関係を表す動力学モデルを用いて逐次決定しつつ、その決定した目標運動に追従させるように前記ロボットの動作制御を行なう脚式移動ロボットの制御装置において、前記ロボットに作用させる床反力モーメ

ントの鉛直成分又は該床反力モーメントの床面法線方向成分又は該ロボットの角運動量変化率の鉛直成分又は該角運動量変化率の床面法線方向成分を制限対象量として、該制限対象量の許容範囲を設定する許容範囲設定手段と、少なくとも鉛直軸回り又は床面法線軸回りのロボットの姿勢に関する目標状態量と該ロボットの実状態量との偏差に応じて該偏差を０に近づけるための付加的な床反力モーメントである補償床反力モーメントを決定する補償床反力モーメント決定手段と、前記目標運動に前記動力学モデル上で釣り合う床反力モーメントと前記補償床反力モーメントとの和に対応する前記制限対象量が前記許容範囲に収まるように目標運動の瞬時値を決定する目標瞬時値決定手段とを備えたことを特徴とする（請求項６）。

【００３３】

かかる本発明によれば、前記目標運動に前記動力学モデル上で釣り合う床反力モーメントと前記補償床反力モーメントとの和に対応する前記制限対象量が前記許容範囲に収まるように目標運動の瞬時値を決定するので、摩擦力モーメント鉛直成分の限界を考慮し、前記制限対象量が許容範囲を越えないようにして、ロボットのスピンおよびそれに起因する転倒を防止することができる。

【００３４】

かかる第２の態様の発明では、前記目標運動に前記動力学モデル上で釣り合う床反力モーメントと前記補償床反力モーメントとの和を目標床反力モーメントとし、その目標床反力モーメントに追従させるようにロボットの動作制御を行なう手段を備えることが好ましい（請求項７）。

【００３５】

また、前記目標瞬時値決定手段は、前記目標運動に前記動力学モデル上で釣り合う床反力モーメントと前記補償床反力モーメントとの和に対応する前記制限対象量を前記許容範囲に収めるために、前記ロボットの運動のうち、前記ロボットの角運動量変化率の鉛直軸回り又は床面法線軸回りの成分を変化させる運動を調整して前記目標運動の瞬時値を決定することが好ましい（請求項８）。

【００３６】

さらに、前記ロボットの角運動量変化率の鉛直軸回り又は床面法線軸回りの成

分を変化させる運動は、該ロボットの上体および／又は該上体から延設された腕体の運動であることが好ましい（請求項９）。

【００３７】

また、本発明の脚式移動ロボットの第３の態様は、上体から延設された脚体を運動させて移動する脚式移動ロボットの目標運動の瞬時値を、少なくとも該ロボットの運動と床反力との関係を表す動力学モデルを用いて逐次決定しつつ、その決定した目標運動に追従させるように前記ロボットの動作制御を行なう脚式移動ロボットの制御装置において、前記ロボットに作用させる床反力モーメントの鉛直成分又は該床反力モーメントの床面法線方向成分又は該ロボットの角運動量変化率の鉛直成分又は該角運動量変化率の床面法線方向成分を制限対象量として、該制限対象量の許容範囲を設定する許容範囲設定手段と、前記目標運動の基準瞬時値を逐次決定する基準瞬時値決定手段と、少なくとも鉛直軸回り又は床面法線軸回りのロボットの姿勢に関する目標状態量と該ロボットの実状態量との偏差に応じて該偏差を０に近づけるための付加的な床反力モーメントである補償床反力モーメントを決定する補償床反力モーメント決定手段と、前記目標運動の基準瞬時値に前記動力学モデル上で釣り合う床反力モーメントと前記補償床反力モーメントとの和のうちの前記許容範囲を逸脱した分をモーメント修正操作量とし、そのモーメント修正操作量に応じて前記目標運動の基準瞬時値を瞬時値を修正することにより前記目標運動の瞬時値を決定する目標瞬時値決定手段とを備えたことを特徴とする（請求項１０）。

【００３８】

かかる本発明の第３態様によれば、前記目標運動の基準瞬時値に前記動力学モデル上で釣り合う床反力モーメントと前記補償床反力モーメントとの和のうちの前記許容範囲を逸脱した分をモーメント修正操作量とし、そのモーメント修正操作量に応じて前記目標運動の基準瞬時値を瞬時値を修正することにより前記目標運動の瞬時値を決定するので、摩擦力モーメント鉛直成分の限界を考慮し、前記制限対象量が許容範囲を越えないようにして、ロボットのスピンおよびそれに起因する転倒を防止することができる。

【００３９】

かかる本発明の第３態様では、前記目標瞬時値決定手段は、前記モーメント修正操作量をローパスフィルタに通すことにより前記目標運動の基準瞬時値の修正量を求め、その求めた修正量により該基準瞬時値を修正することにより前記目標運動の瞬時値を決定することが好ましい（請求項１１）。

【００４０】

さらに、前記目標運動の基準瞬時値に前記動力学モデル上で釣り合う床反力モーメントと前記補償床反力モーメントとの和を前記許容範囲により制限してなる床反力モーメントを目標床反力モーメントとし、その目標床反力モーメントに追従させるようにロボットの動作制御を行なう手段を備えることが好ましい（請求項１２）。

【００４１】

さらに、前記目標瞬時値決定手段は、前記ロボットの角運動量変化率の鉛直軸回り又は床面法線軸回りの成分を変化させる運動を前記基準瞬時値から修正することにより前記目標運動の瞬時値を決定することが好ましい（請求項１３）。

【００４２】

また、前記第１～第３の態様では、前記ロボットの姿勢に関する状態量は、該ロボットの上体のヨー角又はヨー角速度を含むことが好ましい（請求項１４）。

【００４３】

また、前記ロボットの滑りの発生を判断する滑り判断手段を備え、前記許容範囲設定手段は、該滑り判断手段の判断結果に応じて前記許容範囲を可変的に設定することが好ましい（請求項１５）。

【００４４】

次に、本発明の脚式移動ロボットの歩容生成装置の第１の態様は、上体から延設された複数の脚体を運動させて移動する脚式移動ロボットの目標歩容を生成する歩容生成装置において、前記ロボットに作用させる床反力モーメントの鉛直成分又は該床反力モーメントの床面法線方向成分又は該ロボットの角運動量変化率の鉛直成分又は該角運動量変化率の床面法線方向成分を制限対象量として、該制限対象量の許容範囲を設定する許容範囲設定手段と、前記目標歩容を構成する目標運動の仮瞬時値を決定する仮瞬時値決定手段と、少なくとも前記目標運動の仮

瞬時値を、前記ロボットの運動と前記制限対象量との関係を表す動力学モデルに入力し、該動力学モデルの出力としてのモデル制限対象量瞬時値を求めるモデル演算手段と、少なくとも該モデル制限対象量瞬時値を前記許容範囲に収めるように前記目標運動の仮瞬時値を補正して目標運動の瞬時値を決定する目標瞬時値決定手段とを備えたことを特徴とする（請求項１６）。

【００４５】

かかる本発明の歩容生成装置の第１の態様によれば、少なくとも該モデル制限対象量瞬時値を前記許容範囲に収めるように前記目標運動の仮瞬時値を補正して目標運動の瞬時値を決定するので、摩擦力モーメント鉛直成分の限界を考慮し、前記制限対象量が許容範囲を越えないようにして目標歩容を生成することができるので、ロボットのスピンおよびそれに起因する転倒を防止することができる。

【００４６】

かかる歩容生成装置の第１の態様では、前記目標瞬時値決定手段は、前記目標運動の瞬時値に前記動力学モデル上で略釣り合う制限対象量に対応する床反力瞬時値を前記目標歩容を構成する目標床反力瞬時値として決定することが好ましい（請求項１７）。

【００４７】

また、前記目標瞬時値決定手段は、前記ロボットの摂動運動と制限対象量摂動分との関係を表す摂動モデルと、少なくともモデル制限対象量瞬時値と前記許容範囲とに基づき前記摂動モデルの制限対象量摂動分を操作する摂動モデル操作量を決定する手段と、その決定した摂動モデル操作量を前記摂動モデルに入力することにより前記目標運動の補正量を求める手段と、該補正量により前記目標運動の仮瞬時値を補正することにより前記目標運動の瞬時値を決定する手段とを備えることが好ましい（請求項１８）。

【００４８】

この場合、前記摂動モデル操作量を決定する手段は、前記摂動モデル操作量を０と仮定した場合の前記制限対象量の推定値を少なくとも前記モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値に基づき決定する手段と、その決定した推定値を前記許容範囲と比較し、その比較に基づき該許容範囲内に制限してなる制限済制

限対象量を決定する手段とを備え、少なくとも前記モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値と前記制限済制限対象量との差に基づき前記摂動モデル操作量を決定することが好ましい（請求項１９）。

【００４９】

また、請求項１８では、少なくとも前記摂動モデルの状態量に応じて前記摂動モデル操作量の要求値を決定する手段を備え、前記摂動モデル操作量を決定する手段は、前記モデル制限対象量瞬時値、前記許容範囲、及び前記要求値に基づき前記摂動モデルに入力する摂動モデル操作量を決定することが好ましい（請求項２０）。

【００５０】

この場合さらに、前記摂動モデル操作量の要求値を前記摂動モデルの状態量と該状態量に対する目標値との偏差に応じたフィードバック制御則により逐次決定する手段を備えることが好ましい（請求項２１）。

【００５１】

さらに、前記摂動モデル操作量を決定する手段は、前記摂動モデル操作量を前記要求値に一致させたと仮定した場合の前記制限対象量の推定値を少なくとも前記モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値と前記要求値とに基づき決定する手段と、その決定した推定値を前記許容範囲と比較し、その比較に基づき該許容範囲に制限してなる制限済制限対象量を決定する手段とを備え、少なくとも前記モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値と前記制限済制限対象量との差に基づき前記摂動モデル操作量を決定することが好ましい（請求項２２）。

【００５２】

また、請求項１９又は２２では、前記目標瞬時値決定手段は、前記制限済制限対象量に対応する床反力モーメントを前記目標歩容を構成する目標床反力モーメントの瞬時値として決定することが好ましい（請求項２３）。

【００５３】

また、請求項１８では、前記目標瞬時値決定手段は、前記目標運動の補正量を前記動力学モデルに追加的に入力する手段を備え、前記摂動モデル操作量を決定する手段は、前記摂動モデル操作量を０と仮定した場合に前記動力学モデルが出

力するモデル制限対象量瞬時値の推定値を少なくとも前記モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値に基づいて推定する手段と、そのモデル制限対象量瞬時値の推定値を前記許容範囲と比較し、その比較に基づき該許容範囲に制限してなる制限済制限対象量を決定する手段とを備え、少なくとも前記モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値と前記制限済制限対象量との差に基づき前記摂動モデル操作量を決定することが好ましい（請求項２４）。

【００５４】

また、請求項２０又は２１では、前記目標瞬時値決定手段は、前記目標運動の補正量を前記動力学モデルに追加的に入力する手段を備え、前記摂動モデル操作量を決定する手段は、前記摂動モデル操作量を前記要求値に一致させたと仮定した場合に前記動力学モデルが出力するモデル制限対象量瞬時値の推定値を少なくとも前記モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値と前記要求値とに基づいて推定する手段と、そのモデル制限対象量瞬時値の推定値を前記許容範囲と比較し、その比較に基づき該許容範囲に制限してなる制限済制限対象量を決定する手段とを備え、少なくとも前記モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値と前記制限済制限対象量との差に基づき前記摂動モデル操作量を決定することが好ましい（請求項２５）。

【００５５】

そして、請求項２４又は２５では、前記目標瞬時値決定手段は、前記制限済制限対象量に対応する床反力モーメントを前記目標歩容を構成する目標床反力モーメントの瞬時値として決定することが好ましい（請求項２６）。

【００５６】

また、前記摂動モデルは、ロボットの角運動量変化率の鉛直軸回り又は床面法線軸回りの成分を摂動させる摂動運動と前記制限対象量摂動分との関係を表すモデルであることが好ましい（請求項２７）

さらに前記摂動運動は、該ロボットの重心位置を略一定に維持する摂動運動であることが好ましい（請求項２８）

さらに、前記摂動運動は、ロボットの上体および／又は該上体から延設された腕体の摂動運動であることが好ましい（請求項２９）。

【００５７】

また、本発明の脚式移動ロボットの歩容生成装置の第２の態様は、上体から延設された複数の脚体を運動させて移動する脚式移動ロボットの目標歩容を生成する歩容生成装置において、前記ロボットに作用させる床反力モーメントの鉛直成分又は該床反力モーメントの床面法線方向成分又は該ロボットの角運動量変化率の鉛直成分又は該角運動量変化率の床面法線方向成分を制限対象量として、該制限対象量の許容範囲を設定する許容範囲設定手段と、前記目標歩容を構成する目標運動及び目標床反力のうちの少なくとも目標床反力の仮瞬時値を逐次決定する目標床反力仮瞬時値決定手段と、少なくとも該目標床反力の仮瞬時値を、前記ロボットの運動と床反力との関係を表す第１動力学モデルに入力し、該第１動力学モデルの出力としての目標運動の仮瞬時値を求める第１モデル演算手段と、少なくとも前記目標運動の仮瞬時値を、前記ロボットの運動と前記制限対象量との関係を表す第２動力学モデルに入力し、該第２動力学モデルの出力としてのモデル制限対象量瞬時値を求める第２モデル演算手段と、少なくとも該モデル制限対象量瞬時値を前記許容範囲に収めるように目標床反力の床反力モーメント補正量を求め、その求めた床反力モーメント補正量を前記第１動力学モデルに追加的に入力する第１モデル入力補正手段とを備え、少なくとも前記第２動力学モデルの入力に基づいて前記目標運動の目標瞬時値を決定することを特徴とする（請求項３０）。

【００５８】

かかる歩容生成装置の第２の態様によれば、第１および第２動力学モデルを用い、摩擦力モーメント鉛直成分の限界を考慮して、前記制限対象量が許容範囲を越えないようにして目標歩容を生成することができるので、ロボットのスピンおよびそれに起因する転倒を防止することができる。

【００５９】

かかる歩容生成装置の第２の態様では、前記目標瞬時値決定手段は、前記第２動力学モデルが出力する前記モデル制限対象量瞬時値に略対応する床反力モーメントを前記目標歩容を構成する目標床反力モーメントの瞬時値として決定することが好ましい（請求項３１）。

【００６０】

また、前記第１モデル入力補正手段は、少なくとも前記目標床反力の床反力モーメント補正量を０と仮定した場合に前記第２動力学モデルが出力するモデル制限対象量瞬時値の推定値を少なくとも前記第２モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値とに基づいて推定する手段と、そのモデル制限対象量瞬時値の推定値を前記許容範囲と比較し、その比較に基づき該許容範囲に制限してなる制限済制限対象量を決定する手段とを備え、少なくとも前記モデル制限対象量瞬時値と前記制限済制限対象量との差に基づき前記床反力モーメン補正量を決定することが好ましい（請求項３２）。

【００６１】

また、前記目標床反力の床反力モーメント補正量の要求値を決定する手段を備え、前記第１モデル入力補正手段は、少なくとも前記目標床反力の床反力モーメント補正量を前記要求値に一致させたと仮定した場合に前記第２動力学モデルが出力するモデル制限対象量瞬時値の推定値を少なくとも前記第２モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値と前記要求値とに基づいて推定する手段と、そのモデル制限対象量瞬時値の推定値を前記許容範囲と比較し、その比較に基づき該許容範囲に制限してなる制限済制限対象量を決定する手段とを備え、少なくとも前記モデル制限対象量瞬時値と前記制限済制限対象量との差に基づき前記床反力モーメン補正量を決定することが好ましい（請求項３３）。

【００６２】

さらに、少なくとも前記第２モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値と前記許容範囲とに基づき前記目標運動の補正量を求め、その求めた補正量を前記第２動力学モデルに追加的に入力する第２モデル入力補正手段を備えることが好ましい（請求項３４）。

【００６３】

この場合さらに、前記ロボットの摂動運動と制限対象量摂動分との関係を表す摂動モデルと、少なくとも前記第２モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値と前記許容範囲とに基づき床反力モーメントの操作量を決定する手段と、その決定した床反力モーメントの操作量を、前記第１動力学モデルに入力する前記

目標床反力の床反力モーメント補正量と前記摂動モデルに入力する摂動モデル操作量とに分配する分配手段とを備え、前記第２モデル入力補正手段は、前記摂動モデル操作量を前記摂動モデルに入力することにより前記目標運動の補正量を求めることが好ましい（請求項３５）。

【００６４】

さらに、少なくとも前記摂動モデルの状態量に応じて前記床反力モーメントの操作量の要求値を決定する手段を備え、前記床反力モーメントの操作量を決定する手段は、前記第２モデル演算手段が求めた前記モデル制限対象量瞬時値と前記許容範囲と前記要求値とに基づき前記分配手段に与える床反力モーメントの操作量を決定することが好ましい（請求項３６）。

【００６５】

さらに、前記床反力モーメントの操作量の要求値を前記摂動モデルの状態量と該状態量に対する目標値との偏差に応じたフィードバック制御則により逐次決定する手段を備えることが好ましい（請求項３７）。

【００６６】

また、前記摂動モデルは、ロボットの角運動量変化率の鉛直軸回り又は床面法線軸回りの成分を摂動させる摂動運動と前記制限対象量摂動分との関係を表すモデルであることが好ましい（請求項３８）。

【００６７】

この場合、前記摂動運動は、該ロボットの重心位置を略一定に維持する摂動運動であることが好ましい（請求項３９）。

【００６８】

さらに、前記摂動運動は、ロボットの上体および／又は該上体から延設された腕体の摂動運動であることが好ましい（請求項４０）。

【００６９】

また、前記床反力モーメントの操作量を決定する手段は、前記摂動モデル操作量を０と仮定した場合に前記第２動力学モデルが出力するモデル制限対象量瞬時値の推定値を少なくとも前記第２モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値に基づいて推定する手段と、そのモデル制限対象量瞬時値の推定値を前記許容

範囲と比較し、その比較に基づき該許容範囲に制限してなる制限済制限対象量を決定する手段とを備え、少なくとも前記第２モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値と前記制限済制限対象量との差に基づき前記床反力モーメントの操作量を決定することが好ましい（請求項４１）。

【００７０】

あるいは、前記床反力モーメントの操作量を決定する手段は、前記摂動モデル操作量を前記要求値に一致させたと仮定した場合に前記第２動力学モデルが出力するモデル制限対象量瞬時値の推定値を少なくとも前記第２モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値と前記要求値とに基づいて推定する手段と、そのモデル制限対象量瞬時値の推定値を前記許容範囲と比較し、その比較に基づき該許容範囲に制限してなる制限済制限対象量を決定する手段とを備え、少なくとも前記第２モデル演算手段が求めたモデル制限対象量瞬時値と前記制限済制限対象量との差に基づき前記床反力モーメントの操作量を決定することが好ましい（請求項４２）。

【００７１】

また、本発明の歩容生成装置の第３の態様は、上体から延設された複数の脚体を運動させて移動する脚式移動ロボットの目標歩容を生成する歩容生成装置において、前記ロボットに作用させる床反力モーメントの鉛直成分又は該床反力モーメントの床面法線方向成分又は該ロボットの角運動量変化率の鉛直成分又は該角運動量変化率の床面法線方向成分を制限対象量として、該制限対象量の許容範囲を設定する許容範囲設定手段と、前記目標歩容を構成する目標運動及び目標床反力のうちの少なくとも目標床反力の仮瞬時値を逐次決定する目標床反力仮瞬時値決定手段と、少なくとも該目標床反力の仮瞬時値を、前記ロボットの運動と床反力との関係を表す第１動力学モデルに入力し、該第１動力学モデルの出力としての目標運動の第１仮瞬時値を求める第１モデル演算手段と、少なくとも前記目標床反力の仮瞬時値を、前記ロボットの運動と前記制限対象量との関係を表す第２動力学モデルに入力し、該第２動力学モデルの出力としての目標運動の第２仮瞬時値を、該目標運動の第２仮瞬時値に前記第２動力学モデル上で略釣り合う制限対象量瞬時値が前記許容範囲内に収まるように求める第２モデル演算手段と、少

なくとも前記目標運動の第１仮瞬時値と第２仮瞬時値との差に基づいて、該差が零に近づくように床反力モーメントの操作量を求める操作量算出手段と、該床反力モーメントの操作量を前記第１動力学モデル及び第２動力学モデルのうちの少なくともいずれか一方に追加的に入力するモデル入力補正手段とを備え、前記目標運動の第２仮瞬時値を該目標運動の目標瞬時値として決定することを特徴とする（請求項４３）。

【００７２】

かかる歩容生成装置の第３の態様によれば、第１および第２動力学モデルを用い、摩擦力モーメント鉛直成分の限界を考慮して、前記制限対象量が許容範囲を越えないようにして目標歩容を生成することができるので、ロボットのスピンおよびそれに起因する転倒を防止することができる。

【００７３】

かかる歩容生成装置の第３の態様では、前記目標運動の第１仮瞬時値と第２仮瞬時値との差は、前記ロボットの所定の部位の姿勢の、鉛直軸回り又は床面法線軸回りの状態量の差を含むことが好ましい（請求項４４）。

【００７４】

あるいは請求項３３の発明において、少なくとも前記目標床反力の仮瞬時値を、前記ロボットの運動と床反力との関係を表す第３動力学モデルに入力し、該第３動力学モデルの出力としての目標運動の第３仮瞬時値を求める第３モデル演算手段を備え、前記目標床反力の補正量の要求値を決定する手段は、前記決定した前記目標運動の目標瞬時値と前記目標運動の第３仮瞬時値との差に基づいて、該差が零に近づくように前記要求値を決定することが好ましい（請求項４５）

さらに、前記第１～第３の態様の歩容生成装置では、前記ロボットの滑りの発生を判断する滑り判断手段を備え、前記許容範囲設定手段は、該滑り判断手段の判断結果に応じて前記許容範囲を可変的に設定することが好ましい（請求項４６）。

【００７５】

また、本発明の歩容生成装置の第４の態様は、上体から延設された複数の脚体を運動させて移動する脚式移動ロボットの目標歩容を生成する歩容生成装置にお

いて、前記ロボットの滑りの発生を判断する滑り判断手段と、前記ロボットに作用させる並進床反力の水平成分又は該並進床反力の床面平行成分又は該ロボットの全体重心加速度の水平成分又は該全体重心加速度の床面平行成分の許容範囲を前記滑り判断手段の判断結果に応じて可変的に設定する許容範囲設定手段と、前記ロボットに作用する重力と慣性力との合力が所定の動力学的平衡条件を満たすように前記目標歩容の仮目標運動としての仮運動を決定する仮運動決定手段と、前記目標歩容の仮運動により定まるロボットの並進床反力の水平成分又は該並進床反力の床面平行成分又は全体重心加速度の水平成分又は全体重心加速度の床面平行成分が前記許容範囲を逸脱したとき、該並進床反力の水平成分又は該並進床反力の床面平行成分又は全体重心加速度の水平成分又は該全体重心加速度の床面平行成分を前記許容範囲内に制限しつつ、前記動力学的平衡条件を満たすようにロボットの重心回りの角運動量変化率を前記仮運動から変化させることにより該仮運動を修正して目標歩容の運動を決定する仮運動修正手段とを備えたことを特徴とする（請求項４７）。

【００７６】

この歩容生成装置の第４の態様によれば、摩擦力の水平成分に関連する前記制限対象量がロボットの滑りの発生の判断結果に応じた許容範囲を越えないようにして目標歩容を生成することができるので、ロボットの滑りおよびそれに起因する転倒を防止することができる。

【００７７】

また、本発明の歩容生成装置の第５の態様は、上体から延設された複数の脚体を運動させて移動する脚式移動ロボットの目標歩容を生成する歩容生成装置において、前記ロボットの滑りの発生を判断する滑り判断手段と、前記ロボットに作用させる床反力モーメントの鉛直成分又は該床反力モーメントの床面法線方向成分又は該ロボットの角運動量変化率の鉛直成分又は該角運動量変化率の床面法線方向成分を制限対象量として、該制限対象量の許容範囲を前記滑り判断手段の判断結果に応じて可変的に設定する許容範囲設定手段と、前記目標歩容の仮目標運動としての仮運動を決定する仮運動決定手段と、前記目標歩容の仮運動により定まる前記制限対象量が前記許容範囲を逸脱したとき、該制限対象量を前記許容範

囲内に制限しつつ、ロボットの角運動量変化率を前記仮運動から変化させるように該仮運動を修正して目標歩容の運動を決定する仮運動修正手段とを備えたことを特徴とする（請求項４８）。

【００７８】

この歩容生成装置の第５の態様によれば、摩擦力モーメント鉛直成分に関連する前記制限対象量がロボットの滑りの発生の判断結果に応じた許容範囲を越えないようにして目標歩容を生成することができるので、ロボットのスピンおよびそれに起因する転倒を防止することができる。

【００７９】

また、本発明の制御装置の第４の態様は、上体から延設された脚体を運動させて移動する脚式移動ロボットの目標運動の瞬時値を、少なくとも該ロボットの運動と床反力との関係を表す動力学モデルを用いて逐次決定しつつ、その決定した目標運動の瞬時値に追従させるように前記ロボットの動作制御を行なう脚式移動ロボットの制御装置において、前記ロボットの滑りの発生を判断する滑り判断手段と、少なくとも前記ロボットに作用させる並進床反力水平成分又は並進床反力の床面平行成分又は該ロボットの全体重心加速度又は全体重心加速度の床面平行成分を制限対象量とし、該制限対象量の許容範囲を前記滑り判断手段の判断結果に応じて可変的に設定する許容範囲設定手段と、少なくとも前記決定された目標運動の瞬時値に対応するロボットの姿勢の目標状態量と該ロボットの姿勢の実状態量との偏差に基づいて、前記目標運動の新たな瞬時値を、該新たな瞬時値に対応して前記動力学モデルに基づき定まる前記制限対象量が前記許容範囲内に収まるように決定する目標瞬時値決定手段とを備えたことを特徴とする（請求項４９）。

【００８０】

この第４の態様の制御装置によれば、摩擦力水平成分に関連する前記制限対象量が、ロボットの滑りの発生の判断結果に応じた許容範囲を越えないようにするので、ロボットの滑りおよびそれに起因する転倒を防止することができる。

【００８１】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照してこの発明の実施形態に係る脚式移動ロボットの制御装置を説明する。尚、脚式移動ロボットとしては２足移動ロボットを例にとる。

【００８２】

図１は、この実施形態に係る脚式移動ロボットとしての２足移動ロボットを全体的に示す概略図である。

【００８３】

図示の如く、２足移動ロボット（以下、ロボットという）１は上体(ロボット１の基体）３から下方に延設された左右一対の脚体（脚部リンク）２，２を備える。両脚体２，２は同一構造であり、それぞれ６個の関節を備える。その６個の関節は上体３側から順に、股（腰部）の回旋（回転）用（上体３に対するヨー方向の回転用）の関節１０Ｒ，１０Ｌ（符号Ｒ，Ｌはそれぞれ右側脚体、左側脚体に対応するものであることを意味する符号である。以下同じ）と、股（腰部）のロール方向（Ｘ軸まわり）の回転用の関節１２Ｒ，１２Ｌと、股（腰部）のピッチ方向（Ｙ軸まわり）の回転用の関節１４Ｒ，１４Ｌ、膝部のピッチ方向の回転用の関節１６Ｒ，１６Ｌと、足首のピッチ方向の回転用の関節１８Ｒ，１８Ｌと、足首のロール方向の回転用の関節２０Ｒ，２０Ｌとから構成される。

【００８４】

各脚体２の足首の２つの関節１８Ｒ（Ｌ），２０Ｒ（Ｌ）の下部には、各脚体２の先端部を構成する足平（足部）２２Ｒ（Ｌ）が取着されると共に、両脚体２，２の最上位には、各脚体２の股の３つの関節１０Ｒ（Ｌ），１２Ｒ（Ｌ），１４Ｒ（Ｌ）を介して前記上体３が取り付けられている。上体３の内部には、詳細を後述する制御ユニット６０などが格納される。なお、図１では図示の便宜上、制御ユニット６０を上体３の外部に記載している。

【００８５】

上記構成の各脚体２においては、股関節（あるいは腰関節）は関節１０Ｒ（Ｌ），１２Ｒ（Ｌ），１４Ｒ（Ｌ）から構成され、膝関節は関節１６Ｒ（Ｌ）から構成され、足首関節は関節１８Ｒ（Ｌ），２０Ｒ（Ｌ）から構成される。また股関節と膝関節とは大腿リンク２４Ｒ（Ｌ）で連結され、膝関節と足首関節とは下腿リンク２６Ｒ（Ｌ）で連結される。

【００８６】

上体３の上部の両側部には左右一対の腕体５，５が取り付けられると共に、上体３の上端部には頭部４が配置される。各腕体５は、３つの関節３０Ｒ（Ｌ），３２Ｒ（Ｌ），３４Ｒ（Ｌ）から構成された肩関節と、関節３６Ｒ（Ｌ）から構成された肘関節と、関節３８Ｒ（Ｌ）から構成された手首関節と、この手首関節に連連結された手先部４０Ｒ（Ｌ）とを備えている。なお、頭部４は、本発明の要旨と直接的な関連を有しないため詳細な説明を省略する。

【００８７】

上記の構成により、各脚体２の足平２２Ｒ（Ｌ）は、上体３に対して６つの自由度を与えられている。そして、ロボット１の歩行等の移動中に、両脚体２，２を合わせて６＊２＝１２個（この明細書で「＊」はスカラに対する演算としては乗算を、ベクトルに対する演算としては外積を示す）の関節を適宜な角度で駆動することで、両足平２２Ｒ，２２Ｌの所望の運動を行うことができる。これにより、ロボット１は任意に３次元空間を移動することができる。また、各腕体５は、その肩関節、肘関節、手首関節の回転におよって、腕振り等の運動を行うことができる。

【００８８】

図１に示す如く、各脚体２の足首関節１８Ｒ（Ｌ），２０Ｒ（Ｌ）の下方には足平２２Ｒ（Ｌ）との間に公知の６軸力センサ５０が介装されている。該６軸力センサ５０は、各脚体２の足平２２Ｒ（Ｌ）の着地の有無、および各脚体２に作用する床反力（接地荷重）等を検出するためのものであり、該床反力の並進力の３方向成分Ｆｘ，Ｆｙ，Ｆｚ並びにモーメントの３方向成分Ｍｘ，Ｍｙ，Ｍｚの検出信号を制御ユニット６０に出力する。また、上体３には、Ｚ軸（鉛直方向（重力方向））に対する上体３の傾斜角およびその角速度、並びにＺ軸回りの上体３の回転角（ヨー角）およびその角速度を検出するための姿勢センサ５４が備えられ、その検出信号が該姿勢センサ５４から制御ユニット６０に出力される。この姿勢センサ５４は、図示を省略する３軸方向の加速度センサおよび３軸方向のジャイロセンサを備え、これらのセンサの検出信号が上体３の姿勢角（傾斜角およびヨー角）およびその角速度を検出するために用いられると共に、ロボット１

の自己位置姿勢を推定するために用いられる。また、詳細構造の図示は省略するが、ロボット１の各関節には、それを駆動するための電動モータ６４（図３参照）と、その電動モータ６４の回転量（各関節の回転角）を検出するためのエンコーダ（ロータリエンコーダ）６５（図３参照）とが設けられ、該エンコーダ６５の検出信号が該エンコーダ６５から制御ユニット６０に出力される。

【００８９】

さらに、図１では図示を省略するが、ロボット１の適宜な位置にはジョイスティック（操作器）７３（図３参照）が設けられ、そのジョイスティック７３を操作することで、直進移動しているロボット１を旋回させるなど、ロボット１の歩容に対する要求を必要に応じて制御ユニット６０に入力できるように構成されている。

【００９０】

図２は本実施形態における各脚体２の先端部分（各足平２２Ｒ（Ｌ）を含む）の基本構成を概略的に示す図である。同図に示すように、各足平２２Ｒ（Ｌ）の上方には、前記６軸力センサ５０との間にばね機構７０が装備されると共に、足底（各足平２２Ｒ，Ｌの底面）にはゴムなどからなる足底弾性体７１が貼られている。これらのばね機構７０及び足底弾性体７１によりコンプライアンス機構７２が構成されている。ばね機構７０は詳細は後述するが、足平２２Ｒ（Ｌ）の上面部に取り付けられた方形状のガイド部材（図示省略）と、足首関節１８Ｒ（Ｌ）（図２では足首関節２０Ｒ（Ｌ）を省略している）および６軸力センサ５０側に取り付けられ、前記ガイド部材に弾性材（ゴムやばね）を介して微動自在に収納されるピストン状部材（図示省略）とから構成されている。

【００９１】

図２に実線で表示された足平２２Ｒ（Ｌ）は、床反力を受けていないときの状態を示している。各脚体２が床反力を受けると、コンプライアンス機構７２のばね機構７０と足底弾性体７１とがたわみ、足平２２Ｒ（Ｌ）は図中に点線で例示したような位置姿勢に移る。このコンプラインアス機構７２の構造は、例えば本出願人が先に提案した特開平５－３０５５８４号公報に詳細に説明されている如く、着地衝撃を緩和するためだけでなく、制御性を高めるためにも重要なもので

ある。

【００９２】

図３は制御ユニット６０の構成を示すブロック図である。該制御ユニット６０はマイクロコンピュータにより構成されており、ＣＰＵからなる第１の演算装置９０及び第２の演算装置９２、Ａ／Ｄ変換器８０、カウンタ８６、Ｄ／Ａ変換器９６、ＲＡＭ８４、ＲＯＭ９４、並びにこれらの間のデータ授受を行うバスライン８２を備えている。この制御ユニット６０では、各脚体２の６軸力センサ５０、姿勢センサ５４（加速度センサおよびレートジャイロセンサ）、ジョイスティック７３等の出力信号はＡ／Ｄ変換器８０でデジタル値に変換された後、バスライン８２を介してＲＡＭ８４に送られる。またロボット１の各関節のエンコーダ６５（ロータリーエンコーダ）の出力は、カウンタ８６を介してＲＡＭ８４に入力される。

【００９３】

前記第１の演算装置９０は後述の如く目標歩容を生成すると共に、関節角変位指令（各関節の変位角もしくは各電動モータ６４の回転角の指令値）を算出し、ＲＡＭ８４に送出する。また第２の演算装置９２はＲＡＭ８４から関節角変位指令と、前記エンコーダ６５の出力信号とに基づいて検出された関節角の実測値とを読み出し、各関節の駆動に必要な操作量を算出してＤ／Ａ変換器９６とサーボアンプ６４ａとを介して各関節を駆動する電動モータ６４に出力する。

【００９４】

図４は、この実施形態に係る脚式移動ロボットの制御装置の機能的構成を全体的に示すブロック図である。この図４中の「実ロボット」の部分以外の部分が制御ユニット６０が実行する処理機能（主として第１の演算装置９０及び第２の演算装置９２の機能）によって構成されるものである。なお、以下の説明では、脚体２および腕体５の左右を特に区別する必要がないときは、前記符号Ｒ，Ｌを省略する。

【００９５】

以下説明すると、制御ユニット６０は、ロボット１の目標歩容を自在かつリアルタイムに生成して出力する歩容生成装置１００を備えている。該歩容生成装置

１００は、その機能によって、本願発明の各手段を構成するものである。この歩容生成装置１００が出力する目標歩容は、目標上体位置姿勢軌道（上体３の目標位置及び目標姿勢の軌道）、目標足平位置姿勢軌道（各足平２２の目標位置及び目標姿勢の軌道）、目標腕姿勢軌道（各腕体５の目標姿勢の軌道）、目標全床反力中心点（目標ＺＭＰ）軌道、目標全床反力軌道から構成される。なお、脚体２や腕体５以外に上体３に対して可動な部位を備える場合には、その可動部位の目標位置姿勢軌道が目標歩容に加えられる。

【００９６】

ここで、上記歩容における「軌道」は時間的変化のパターン（時系列パターン）を意味し、以下の説明では、「軌道」の代わりに「パターン」と称することもある。また、「姿勢」は空間的な向きを意味する。具体的には、例えば上体姿勢はＺ軸（鉛直軸）に対するロール方向（Ｘ軸まわり）の上体３の傾斜角とピッチ方向（Ｙ軸まわり）の上体３の傾斜角とヨー方向（Ｚ軸まわり）の上体３の回転角とで表され、足平姿勢は各足平２２に固定的に設定された２軸の空間的な方位角で表される。本明細書では、上体姿勢は上体姿勢角ということもある。

【００９７】

尚、以下の説明では、誤解を生じるおそれがない場合には、しばしば「目標」を省略する。また、歩容のうちの、床反力に係わる構成要素以外の構成要素、すなわち足平位置姿勢、上体位置姿勢等、ロボット１の運動に係わる歩容を総称的に「運動」という。また、各足平２２に作用する床反力（並進力及びモーメントからなる床反力）を「各足平床反力」と呼び、ロボット１の全て（２つ）の足平２２Ｒ，２２Ｌについての「各足平床反力」の合力を「全床反力」という。ただし、以下の説明においては、各足平床反力はほとんど言及しないので、特に断らない限り、「床反力」は「全床反力」と同義として扱う。

【００９８】

目標床反力は、一般的には、作用点とその点に作用する並進力及びモーメントによって表現される。作用点はどこにとっても良いので、同一の目標床反力でも無数の表現が考えられるが、特に目標床反力中心点（全床反力の中心点の目標位置）を作用点にして目標床反力を表現すると、目標床反力のモーメント成分は、

鉛直成分（鉛直軸（Ｚ軸）まわりのモーメント）を除いて零になる。換言すれば、目標床反力中心点まわりの目標床反力のモーメントの水平成分（水平軸（Ｘ軸及びＹ軸）回りのモーメント）は零になる。

【００９９】

尚、動力学的平衡条件を満足する歩容では、ロボット１の目標運動軌道から算出されるＺＭＰ（目標運動軌道から算出される慣性力と重力との合力がその点まわりに作用するモーメントが、鉛直成分を除いて零になる点）と目標床反力中心点は一致することから、目標床反力中心点軌道の代わりに目標ＺＭＰ軌道を与えると言っても同じことである（詳細は、本願出願人による特願２０００－３５２０１１号等を参照）。

【０１００】

このような背景から、上記特願２０００－３５２０１１号の明細書では目標歩容を、次のように定義していた。

ａ）広義の目標歩容とは、１歩ないしは複数歩の期間の目標運動軌道とその目標床反力軌道との組である。

ｂ）狭義の目標歩容とは、１歩の期間の目標運動軌道とそのＺＭＰ軌道との組である。

ｃ）一連の歩容は、いくつかの歩容がつながったものとする。

【０１０１】

歩行においては、本出願人が先に特開平１０－８６０８０号公報で提案した上体高さ決定手法によってロボット１の上体３の鉛直位置（上体高さ）が決定されると、並進床反力鉛直成分は従属的に決定される。さらに、目標歩容の運動による慣性力と重力との合力が目標ＺＭＰまわりに発生するモーメントの水平成分が零になるようにロボット１の上体水平位置軌道を決定することで、並進床反力水平成分も決定される。このため、特願２０００－３５２０１１号の明細書では、目標歩容の床反力に関して明示的に設定すべき物理量としては、目標ＺＭＰだけで十分であった。したがって、狭義の目標歩容の定義としては、上記のｂ）で十分であった。それに対し、本実施形態で説明するロボット１の走行歩容（詳細は後述する）においては、床反力鉛直成分（並進床反力鉛直成分）も制御上重要で

ある。このため本発明では、この床反力鉛直成分の目標軌道を明示的に設定した上で、ロボット１の目標上体鉛直位置等の軌道を決定する。そこで、本明細書では、狭義の目標歩容の定義として、次のｂ’）を用いる。

ｂ’）狭義の目標歩容とは、１歩の期間の目標運動軌道とその目標ＺＭＰ軌道と目標並進床反力鉛直成分軌道との組である。

【０１０２】

この明細書では以降、理解を容易にするために、特にことわらない限り、目標歩容は上記ｂ’）の狭義の目標歩容の意味で使用する。この場合、目標歩容の「１歩」は、ロボット１の片方の脚体２が着地してからもう一方の脚体２が着地するまでの意味で使用する。尚、以下の説明では、「床反力鉛直成分」は「並進床反力鉛直成分」を意味するものとし、床反力のうちのモーメントの鉛直成分（鉛直軸回り成分）は、「モーメント」という用語を用いて「床反力鉛直成分」と区別をする。同様に、「床反力水平成分」は「並進床反力水平成分」を意味するものとする。

【０１０３】

また、歩容における両脚支持期とは言うまでもなく、ロボット１がその自重を両脚体２，２で支持する期間、片脚支持期とはいずれか一方のみの脚体２でロボット１の自重を支持する期間、空中期とは両脚体２，２が床から離れている（空中に浮いている）期間を言う。片脚支持期においてロボット１の自重を支持しない側の脚体２を「遊脚」と呼ぶ。尚、本実施形態で説明する走行歩容では、両脚支持期は無く、片脚支持期（着地期）と空中期とが交互に繰り返される。この場合、空中期では両脚２，２とも、ロボット１の自重を支持しないこととなるが、該空中期の直前の片脚支持期において遊脚であった脚体２、支持脚であった脚体２をそれぞれ該空中期においても遊脚、支持脚と呼ぶ。

【０１０４】

図５に示す走行歩容を例にして、歩容生成装置１００が生成する目標歩容の概要を説明する。なお、歩容に関するその他の定義および詳細は、先に本願出願人が提案した特開平１０－８６０８１号公報にも記載されているので、以下では、特開平１０－８６０８１号公報に記載されていない内容を主に説明する。

【０１０５】

まず、図５に示す走行歩容を説明する。この走行歩容は、人間の通常的な走行歩容と同様の歩容である。この走行歩容では、ロボット１の左右いずれか一方のみの脚体２（支持脚）の足平２２が着地（接地）する片脚支持期と、両脚体２，２が空中に浮く空中期とが交互に繰り返される。図５の１番目の状態は片脚支持期の開始時（初期）の状態、２番目の状態は片脚支持期の中間時点の状態、３番目の状態は片脚支持期に続く空中期の開始時（片脚支持期の終了時）の状態、４番目の状態は空中期の中間時点の状態、５番目の状態は空中期の終了時（次の片脚支持期の開始時）の状態を示している。

【０１０６】

この走行歩容では、ロボット１は、図５の１番目の状態で示すように、片脚支持期の開始時において支持脚（ロボット１の進行方向前側の脚体２）側の足平２２のかかとで着地する。続いて、図５の２番目の状態で示すように、ロボット１は、着地した足平２２（支持脚側の足平２２）の底面のほぼ全面を着地させた後、図５の３番目の状態で示すように、その支持脚側の足平２２（図５の３番目の状態におけるロボット１の進行方向後側の脚体２の足平２２）のつま先で床を蹴って空中に飛び上がる。これより片脚支持期が終了すると共に空中期が開始する。尚、片脚支持期における遊脚は、図５の１番目の状態で示すように、片脚支持期の開始時では、支持脚の後側に存在するが、図５の２番目及び３番目の状態で示すように次の着地予定位置に向かって支持脚の前側に振り出される。次いで、図５の４番目の状態で示す空中期を経た後、ロボット１は、遊脚（空中期の開始直前の片脚支持期で遊脚となっていた脚体２）の足平２２のかかとで着地し、次の片脚支持期が開始される。

【０１０７】

図５の走行歩容を考慮しつつ、前記歩容生成装置１００が生成する目標歩容の基本的な概要を説明する。詳細は後述するが、歩容生成装置１００が目標歩容を生成するとき、遊脚側の足平２２の着地位置姿勢（着地予定位置姿勢）や着地時刻（着地予定時刻）等の目標歩容生成用の基本的な要求値（要求パラメータ）が、前記ジョイスティック４４の所要の操作等に応じて歩容生成装置１００に与え

られる。そして、歩容生成装置１００は、その要求パラメータを用いて目標歩容を生成する。より詳しく言えば、歩容生成装置１００は、上記要求パラメータに応じて、目標歩容の目標足平位置姿勢軌道、目標床反力鉛直成分軌道等、目標歩容の一部の構成要素を規定するパラメータ（歩容パラメータという）を決定した上で、その歩容パラメータを用いて目標歩容の瞬時値を逐次決定し、該目標歩容の時系列パターンを生成する。

【０１０８】

この場合、目標足平位置姿勢軌道（より詳しくは、足平の位置及び姿勢の空間的な各成分（Ｘ軸成分等）の目標軌道）は、例えば本出願人が特許第３２３３４５０号にて提案した有限時間整定フィルタを用いて各足平２２毎に生成される。この有限時間整定フィルタは、可変時定数の１次遅れフィルタ、すなわち、伝達関数が１／（１＋τｓ）の形で表されるフィルタ（τは可変の時定数。以下、このフィルタを単位フィルタという）を複数段（本実施形態では３段以上）、直列に接続したものであり、所望の指定時刻に指定値に到達するような軌道を生成・出力することができるものである。この場合、各段の単位フィルタの時定数τは、いずれも、有限時間整定フィルタの出力生成を開始してから、上記指定時刻までの残時間に応じて逐次可変的に設定される。より詳しくは、該残時間が短くなるに伴いτの値が所定の初期値（＞０）から減少されていき、最終的には、該残時間が０になる指定時刻にて、τの値が０になるように設定される。そして、有限時間整定フィルタには、前記指定値（より詳しくは、有限時間整定フィルタの出力の初期値から前記指定値への変化量）に応じた高さのステップ入力が与えられる。このような有限時間整定フィルタは、指定時刻にて指定値に達するような出力が生成されるだけでなく、指定時刻における有限時間整定フィルタの出力の変化速度を０もしくはほぼ０にすることができる。特に、単位フィルタを３段以上（３段でよい）、接続した場合には、有限時間整定フィルタの出力の変化加速度（変化速度の微分値）をも０もしくはほぼ０にすることができる。

【０１０９】

尚、上記のように有限時間整定フィルタにより生成される目標足平位置姿勢軌道は、床面に固定された後述の支持脚座標系での各足平２２の目標位置姿勢軌道

である。

【０１１０】

上述のように生成される目標足平位置姿勢軌道は、各足平２２の位置が、その初期接地状態（目標歩容の初期時刻の状態）から着地予定位置に向かって徐々に加速しながら移動を開始するように生成される。そして、該目標足平位置姿勢軌道は、最終的に着地予定時刻までに徐々に位置の変化速度を０またはほぼ０にまで減速し、着地予定時刻にて着地予定位置に到達して停止するように生成される。このため、各足平２２の着地瞬間における対地速度（床に固定された支持脚座標系での各足平２２の位置の変化速度）が０またはほぼ０になる。したがって、走行歩容において同時に全脚体２，２が空中に存在する状態（空中期での状態）から着地しても、着地衝撃が小さくなる。

【０１１１】

前記走行歩容においては、ロボット１に作用する重力によって空中期後半から上体３の鉛直速度は下向きになり、着地時でも下向きのままである。したがって、上記のように各足平２２の着地瞬間における対地速度が０またはほぼ０になるように目標足平位置姿勢軌道を生成すると共に、後述する如く動力学的平衡条件を満たすように上体３の目標位置姿勢軌道を生成したとき、着地直前において、上体３に対する遊脚側の足平２２の相対速度は、上向きになる。すなわち、走行歩容の着地瞬間では、ロボット１の目標歩容は遊脚側の脚体２２を上体３側に引っ込めながら着地するような歩容となる。言い換えれば、本実施例での目標歩容では、ロボット１は、着地瞬間において、遊脚側の足平２２の対地速度が０またはほぼ０になるように、上体３から見て該足平２２を引き上げるようにして着地する。これによって、着地衝撃は小さくなり、着地衝撃が過大になるのを防止するようにしている。

【０１１２】

また、本実施形態では、有限時間整定フィルタは、単位フィルタを３段以上（例えば３段）、直列に接続したものであるため、着地予定時刻までに各足平２２の速度（足平位置の変化速度）が０またはほぼ０になるだけでなく、各足平２２は、その加速度も着地予定時刻にて０またはほぼ０になって停止する。つまり、

着地瞬間における対地加速度も０またはほぼ０になる。したがって、着地衝撃がより一層小さくなる。特に、実際のロボット１の着地時刻が目標の着地時刻からずれても、衝撃があまり増大しなくなる。補足すると、着地予定時刻にて各足平２２の対地速度を０またはほぼ０にする上では、有限時間整定フィルタの単位フィルタの段数は２段でもよいが、この場合には、着地予定時刻での各足平２２の加速度は一般には０にならない。

【０１１３】

尚、足平姿勢に関しては、各足平２２が着地予定時刻にてその踵で着地した後、該足平２２の底面のほぼ全面が床に接地するまで動き続ける。このため、該足平２２の底面のほぼ全面が床に接地する時刻を前記指定時刻に設定して、前記有限時間整定フィルタにより足平姿勢軌道が生成される。

【０１１４】

また、本実施形態では、有限時間整定フィルタを用いて足平位置軌道を生成したが、着地予定時刻での足平位置の変化速度が０またはほぼ０になる（足平位置の時間微分値が０になる）ように、さらには、該着地予定時刻での足平位置の変化加速度（変化速度の時間微分値）が０またはほぼ０になるように設定された多項式などの関数を用いて目標足平位置軌道を生成するようにしても良い。このことは、目標足平姿勢軌道の生成に関しても同様である。但し、該目標足平姿勢軌道の生成に関しては、上述の如く、各足平２２の底面のほぼ全面が床に設置する時刻にて、各足平２２の姿勢の変化速度、さらにはその変変化加速度が０またはほぼ０になるように多項式などの関数が設定される。

【０１１５】

目標床反力鉛直成分軌道は、例えば図６のように設定される。本実施形態では、走行歩容における目標床反力鉛直成分軌道の形状（詳しくは片脚支持期での形状）は、台形状（床反力鉛直成分の増加側に凸の形状）に定められており、その台形の高さ、折れ点の時刻を目標床反力鉛直成分軌道を規定する歩容パラメータとして、それらの歩容パラメータ（床反力鉛直成分軌道パラメータ）が決定される。尚、走行歩容の空中期では、目標床反力鉛直成分は定常的に０に設定される。この例のように、目標床反力鉛直成分軌道は、実質的に連続になるように（値

が不連続にならないように）設定するのが良い。これは床反力を制御する際のロボット１の関節の動作を滑らかにするためである。尚、「実質的に連続」というのは、アナログ的に連続な軌道（真の意味での連続な軌道）を離散時間系でデジタル表現したときに必然的に生じる値の飛びは、該軌道の連続性を失わせるものではないということを意味するものである。

【０１１６】

目標ＺＭＰ軌道は次のように設定される。図５の走行歩容においては、前記したように支持脚側足平２２のかかとで着地し、次にその支持脚側足平２２のつま先で蹴って空中に飛び上がり、最後に遊脚側足平２２のかかとで着地する。したがって、片脚支持期での目標ＺＭＰ軌道は、図７の上段図に示すように、支持脚側足平２２のかかとを初期位置として、次に支持脚側足平２２の底面のほぼ全面が接地する期間において該足平２２の前後方向の中央に移動し、その後、離床時までに支持脚側足平２２のつまさきに移動するように設定される。ここで、図７の上段図は、Ｘ軸方向（前後方向）の目標ＺＭＰ軌道を示すものであり、図７の下段図はＹ軸方向（左右方向）の目標ＺＭＰ軌道を示すものである。尚、片脚支持期におけるＹ軸方向の目標ＺＭＰ軌道は、図７の下段図に示すように、Ｙ軸方向での支持脚側脚体２の足首関節の中心位置と同じ位置に設定される。

【０１１７】

走行歩容では、さらに片脚支持期の終了後、両脚体２，２が床から離れ、床反力鉛直成分が０になる。床反力鉛直成分が０の時、すなわち空中期には、ロボット１の全体重心は自由落下運動をし、全体重心まわりの角運動量変化は零である。この時、床の任意の点において、ロボット１に作用する重力と慣性力との合力のモーメントは０であるので、目標ＺＭＰは不定である。すなわち、床のいずれの点も、「重力と慣性力との合力が作用するモーメントの水平成分が０である作用点」というＺＭＰの条件を満たす。言いかえれば、任意の点に目標ＺＭＰを設定しても、上記合力が目標ＺＭＰ回りに作用するモーメントの水平成分が０であるという動力学的平衡条件を満足する。したがって、目標ＺＭＰを不連続に設定しても構わない。例えば、空中期では、目標ＺＭＰを、離床時（片脚支持期の終了時）の目標ＺＭＰ位置から移動しないように設定し、空中期終端において、着

地時の目標ＺＭＰ位置に不連続（ステップ状）に移動するように該目標ＺＭＰ軌道を設定しても構わない。しかし本実施形態では、図７の上段図に示すように、空中期における目標ＺＭＰ軌道のＸ軸方向位置は、次の遊脚側脚体２の着地までに支持脚側足平２２のつまさきから遊脚側足平２２のかかとの着地位置まで連続的に移動するようにした。また、図７の下段図に示すように、空中期における目標ＺＭＰ軌道のＹ軸方向位置は、次の遊脚側脚体２の着地までに支持脚側脚体２の足首関節の中心のＹ軸方向位置から遊脚側脚体２の足首関節の中心のＹ軸方向位置まで連続的に移動するようにした。すなわち、歩容の全期間において目標ＺＭＰ軌道を連続（実質的に連続）にした。そして、後述するように、目標ＺＭＰまわりの重力と慣性力との合力のモーメント（鉛直成分を除く）が零になるように目標歩容を生成する（より具体的には目標上体位置姿勢軌道を調整する）ようにした。モデルの近似誤差を考慮すると、生成された歩容が滑らかになるようにするために、空中期においても目標ＺＭＰ軌道を連続（実質的に連続）にしておくのが望ましい。但し、本実施形態で用いる後述の動力学モデルでは、目標ＺＭＰの位置によらずに、目標ＺＭＰ回りモーメントの水平成分を０にするような目標歩容を一義的に生成できるので、必ずしも目標ＺＭＰを連続にしておく必要はない。

【０１１８】

尚、本実施形態では、図７に示したような目標ＺＭＰ軌道の折れ点の位置や時刻が、ＺＭＰ軌道パラメータ（目標ＺＭＰ軌道を規定するパラメータ）として設定される。また、上記したＺＭＰ軌道の「実質的に連続」の意味は、前記床反力鉛直成分軌道の場合と同様である。

【０１１９】

ＺＭＰ軌道パラメータは、安定余裕が高く、かつ急激な変化をしないように決定される。ここで、ロボット１の接地面を含む最小の凸多角形（いわゆる支持多角形）の中央付近に目標ＺＭＰが存在する状態を安定余裕が高いと言う（詳細は特開平１０－８６０８１号公報を参照）。図７の目標ＺＭＰ軌道はこのような条件を満たすように設定したものである。

【０１２０】

また、目標上体位置姿勢、目標足平位置姿勢および後述の基準上体姿勢はグローバル座標系で記述される。グローバル座標系は床に固定された座標系である。グローバル座標系としては、より具体的には、後述する支持脚座標系が用いられる。

【０１２１】

本実施形態では、歩容生成装置１００は、目標上体姿勢だけでなく、基準上体姿勢も生成する。この基準上体姿勢は、歩容に対する要求（歩容生成装置１００に対する行動計画部などの装置または外部（前記ジョイスティック４４等）からの要求）にそのまま従って生成される上体姿勢である。

【０１２２】

目標上体姿勢（以降、「基準」が付いていない場合には、目標上体姿勢を表す）は、長期的には基準上体姿勢に追従するかまたは一致するように生成される。

【０１２３】

目標上体姿勢は、歩行においては、本願出願人による特願２０００－３５２０１１号の明細書に記載した実施形態のごとく通常、常に基準上体姿勢に一致させておけば良い。特願２０００－３５２０１１号では、基準上体姿勢という概念は記載されていないが、目標上体姿勢パターンを、明示的かつ優先的に与えていたので、基準上体姿勢に目標上体姿勢が常に一致していることと同じことである。

【０１２４】

しかし、走行など空中期がある歩容や低摩擦床面での歩行においては、単に上体水平加速度等を調整するだけでは、目標歩容の床反力水平成分と床反力モーメント鉛直成分とが許容範囲以内（あるいは摩擦限界以内）に存在するようにしつつ動力学的平衡条件を満足することができない。

【０１２５】

そこで、本実施形態においては、目標上体姿勢を必要に応じて基準上体姿勢から故意にずらすこととした。より具体的には、以下に説明する運動モードを複合的に発生させることにより、目標歩容の床反力水平成分や床反力モーメント鉛直成分が許容範囲以内（あるいは摩擦限界以内）に存在しつつ動力学的平衡条件を満足させるようにした。

【０１２６】

図８のように、ロボット１のある運動状態から、上体水平加速度だけを摂動（微小変化）させると、ロボット１の全体重心水平加速度と全体重心まわりの角運動量が摂動する。すなわち、上体水平加速度の摂動は、それによって発生するロボット１の慣性力と重力との合力に対して動力学的に釣り合う床反力鉛直成分を摂動させずに（ロボット１の全体重心鉛直加速度を摂動させずに）、目標ＺＭＰまわりの床反力モーメント成分（ただし鉛直軸まわり成分を除く）と床反力水平成分とを摂動させる。このようにロボット１の上体水平加速度を摂動させる運動モードを上体並進モードと呼ぶ。（尚、床反力モーメント鉛直成分も摂動するが、ここではこの点に注目しない。）

言いかえると、床反力鉛直成分を変化させずに、目標ＺＭＰまわりの床反力モーメント成分（ただし鉛直軸まわり成分を除く）と床反力水平成分とを変化させる運動を上体並進モードと呼ぶ。（尚、前述のように、床反力モーメント鉛直成分も摂動する。）

この時の単位加速度当たりの床反力モーメント成分の変化をΔMp、単位加速度当たりの床反力水平成分の変化をΔFpとする。図８に示す状況で上体３を前方に水平加速すると、ΔMpとΔFpは図８に示す矢印の向きに作用する。

【０１２７】

感覚的に判り易くするために、運動によって発生する慣性力と重力との合力に釣り合う床反力を用いて表現したが、慣性力と重力との合力を用いて表現した方が、理論的には的確である。なお、上記合力と床反力とは、互いに大きさが同じで向きが逆になっている。

【０１２８】

それに対し、図９のように、ロボット１のある運動状態から、ある点Ｐｒまわりに上体傾斜角加速度（上体３の傾斜角の角加速度）を摂動させると、ロボット１の全体重心は摂動せずに、全体重心まわりの角運動量（鉛直軸まわり成分を除く）が摂動する。すなわち、点Ｐｒまわりの上体傾斜角加速度の摂動は、床反力鉛直成分と床反力水平成分とを摂動させずに、目標ＺＭＰまわりの床反力モーメント成分（鉛直軸まわり成分を除く）を摂動させる。このようにロボット１の上

体傾斜角加速度を摂動させる運動モードを上体傾斜モードと呼ぶ。

【０１２９】

言いかえると、床反力鉛直成分と床反力水平成分を変化させずに、目標ＺＭＰまわりの床反力モーメント成分（鉛直軸まわり成分を除く）を変化させる運動を上体傾斜モードと呼ぶ。

【０１３０】

この時の単位角加速度当たりの床反力モーメント成分の変化をΔMr、単位角加速度当たりの床反力水平成分の変化をΔFrとする。ΔFrは零である。図９に示す状況で上体３が前傾するように上体傾斜角の角加速度を発生させると、ΔMrは図９に示す矢印の向きに作用する。

【０１３１】

また、図３９のように、ロボット１のある運動状態から、ある点Pqまわりに上体ヨー角加速度（上体３の鉛直軸まわりの回転角加速度）を摂動させると、ロボット１の全体重心は摂動せずに、全体重心まわりの角運動量鉛直成分が摂動する。ところで、ロボット１の全体重心が摂動しなければ、角運動量鉛直成分の摂動は、作用点に依存しない。したがって、点Pqまわりの上体ヨー角加速度の摂動は、床反力鉛直成分、床反力水平成分および床反力モーメント水平成分を摂動させずに、目標ＺＭＰまわりの床反力モーメント鉛直成分を摂動させる。このようにロボット１の上体ヨー角加速度を摂動させる運動モードを上体ヨー回転モードと呼ぶ。

【０１３２】

言いかえると、床反力鉛直成分、床反力水平成分および床反力モーメント水平成分を変化させずに、目標ＺＭＰまわりの床反力モーメント鉛直成分を変化させる上体運動を上体ヨー回転モードと呼ぶ。

【０１３３】

この時の単位角加速度当たりの床反力モーメント鉛直成分の変化をΔMbz、単位角加速度当たりの床反力水平成分の変化をΔFbとする。ΔFbは零である。図３９に示す状況で上体３を矢印の向きに単位角加速度で回転させる（角加速度$\beta b=1$で回転させる）と、ΔMbzは図３９に示す矢印の向きに作用する。

【０１３４】

尚、図３９に示す運動では、両手先位置が支持脚座標系（床に固定された座標系）から見て変わらないように、上体を回転させたが、上体に対する腕の相対位置姿勢を変えずに、上体と共に腕を回転させる運動を上体ヨー回転モードと定義しても良い。ただし、この場合には、後述する運動方程式に若干変更が必要である。

【０１３５】

また、図４０のように、ロボット１のある運動状態から、両腕先端を互いに前後に逆方向に摂動させると、ロボット１の全体重心は摂動せずに、全体重心まわりの角運動量鉛直成分が摂動する。以降、この運動モードを逆位相腕振りモードと呼ぶ。言い換えると、床反力鉛直成分、床反力水平成分および床反力モーメント水平成分を摂動させずに、目標ＺＭＰまわりの床反力モーメント鉛直成分を摂動させる腕振り運動モードを逆位相腕振りモードと呼ぶ。

【０１３６】

右腕を前に単位量移動させ左腕を後ろに単位量移動させる動作を、単位角度の逆位相腕振りと呼ぶ。図４０は、逆位相腕振り角度がθazの状態を表す。

【０１３７】

逆位相腕振りモードの単位角加速度当たりの床反力モーメント鉛直成分の変化をΔMaz、単位角加速度当たりの床反力水平成分の変化をΔFaとする。ΔFaは零である。図４０に示す状況で右腕を前に左腕を後ろに加速する（角加速度βa>0で振る）と、図４０に示す矢印の向き（鉛直軸の正の向き）に床反力モーメントMazが作用する。

【０１３８】

次に、本実施形態に用いられるロボット動力学モデルについて説明する。本実施形態では単純化された（近似された）以下に示す動力学モデルを用いる。ただし、以下に示す動力学モデルに関しては、キネマティクスモデル（関節、リンクの構造や寸法を表すモデルであり、言い換えると、関節変位とリンクの位置姿勢との関係を表すモデルである。）も必要である。

【０１３９】

図１０は、本実施形態に用いられるロボット動力学モデルである。図示の如く、この動力学モデルは、ロボット１の各脚体２にそれぞれ対応する２つの質点２ｍ，２ｍ、及び上体３に対応する質点３ｍからなる合計３質点と、イナーシャがあって質量のない４つのフライホイールＦＨx、ＦＨy、ＦＨbz、ＦＨazとから構成されるモデルである。この動力学モデルでは、デカップルド、即ち、脚体２，２の動力学（各質点２ｍ，２ｍの動力学）と上体３の動力学（質点３ｍ及びフライホイールＦＨx、ＦＨyおよびＦＨbzの動力学）と腕の動力学（フライホイールＦＨazの動力学）とが相互に非干渉に構成されると共に、ロボット１全体の動力学は、それらの線形結合で表される。また、さらに、上体３の運動と床反力との関係も、上体３の並進運動（上体並進モード）と床反力との関係、上体３の傾斜運動（上体傾斜モード）と床反力との関係、並びに上体３のヨー回転運動（上体ヨー回転モード）と床反力との関係に分離される。具体的には、上体質点３ｍの水平運動によって発生する床反力は、上体３の水平方向並進運動（上体並進モード）によって発生する床反力に対応し、フライホイールＦＨxおよびＦＨyの回転運動によって発生する床反力は、上体３の傾斜角の回転運動（上体傾斜モード）によって発生する床反力に対応し、フライホイールＦＨbzの回転運動によって発生する床反力は、上体３の上体ヨー回転によって発生する床反力に対応する。また、フライホイールＦＨazの回転運動によって発生する床反力は、逆位相腕振りによって発生する床反力に対応する。

【０１４０】

尚、ロボット１の腕体の質量は上体３に含まれるものとし、上体質点３ｍは腕体の質量を含む質量をもつ。

【０１４１】

説明の便宜上、動力学モデルに関する変数およびパラメータを以下のように定義する。なお、各質点２ｍ，２ｍ，３ｍはそれが対応する部位の代表点であるか、あるいはその部位の位置姿勢から幾何学的に一義的に決定される点に相当する。例えば、支持脚側脚体２の質点２ｍの位置は、該脚体２の足平２２の底面の前記代表点から所定の距離だけ上方の点とする。

Ｚsup：支持脚質点鉛直位置

Ｚswg：遊脚質点鉛直位置

Zb：上体質点鉛直位置（上体鉛直位置とは一般的には異なる。）

ＺGtotal：全体重心鉛直位置

Ｘsup：支持脚質点Ｘ位置

Ｙsup：支持脚質点Ｙ位置

Ｘswg：遊脚質点Ｘ位置

Ｙswg：遊脚質点Ｙ位置

Ｘb：上体質点Ｘ位置（上体質点位置は、前記点Ｐｒから上体の前後方向にある所定の距離だけオフセットした点である。オフセットは、直立時などにおいて、厳密モデルの重心位置と、本動力学モデルの重心位置がなるべく一致するように、決定される。上体水平位置とは一般的には異なる。）

Ｙb：上体質点Ｙ位置

ＸGtotal：全体重心水平Ｘ位置

ＹGtotal：全体重心水平Ｙ位置

θbx：鉛直方向に対するＸ軸回りの上体傾斜角

$\theta$by：鉛直方向に対するＹ軸回りの上体傾斜角

θbz：上体ヨー回転角

θaz：逆位相腕振り角

mb：上体質点質量

msup：支持脚質点質量

mswg：遊脚質点質量

mtotal：ロボット総質量（＝mtotal＋msup＋mswg）

Ｊ：上体慣性モーメント（上体傾斜モードにおける等価慣性モーメントである。すなわち、FHxおよびFHyの慣性モーメントである。実ロボット１の上体３部位の慣性モーメントとは一般的には一致しない。）

Ｊbz：鉛直軸まわり上体慣性モーメント（上体ヨー回転モードにおける等価慣性モーメントである。実ロボット１の上体３部位の慣性モーメントとは一般的には一致しない。）

Ｊaz：腕振り鉛直軸まわり慣性モーメント（スピンキャンセルのための逆位相腕

振りにおける等価慣性モーメントである。すなわち、FHzの慣性モーメントである。）

Fx：床反力Ｘ成分（詳しくは並進床反力の前後方向（Ｘ軸）成分）

Fy：床反力Ｙ成分（詳しくは並進床反力の前後方向（Ｙ軸）成分）

Fz：床反力鉛直成分（詳しくは並進床反力の鉛直方向（Ｚ軸）成分。本実施形態では、これは目標並進床反力鉛直成分に等しい）

Mx：目標ＺＭＰまわりの床反力モーメントＸ成分（詳しくは床反力モーメントの前後軸（Ｘ軸）まわり成分）

My：目標ＺＭＰまわりの床反力モーメントＹ成分（詳しくは床反力モーメントの左右軸（Y軸）まわり成分）

Mz：目標ＺＭＰまわりの床反力モーメントＺ成分（詳しくは床反力モーメントの鉛直軸（Ｚ軸）まわり成分）

【０１４２】

尚、本実施形態では、各脚体２の質点２ｍの位置と、その脚体２の足平２２の位置（足平２２のあらかじめ定めた代表点の位置）との位置関係はあらかじめ定められており、一方の位置が決まれば、他方の位置は一義的に定まるものとされている。また、上体質点３ｍと、上体３の位置（上体３のあらかじめ定められた代表点の位置）との位置関係は、上体３の姿勢角（以降、上体に関しては、姿勢角とは、傾斜角とヨー角を意味するものとする。）に応じてあらかじめ定められており、一方の位置と姿勢角とが決まれば、他方の位置は一義的に定まるものとされている。

【０１４３】

また、任意の変数Ｘに対して、dX/dtはＸの１階微分を表わし、d2X/dt2はＸの２階微分を表わす。したがって、変数Ｘが変位ならば、dX/dtは速度、d2X/dt2は加速度を意味する。ｇは重力加速度定数を示す。ここでは、ｇは正の値とする。

【０１４４】

上記動力学モデルの運動方程式（動力学的平衡条件を表す式）は、式０１、式０２x、式０２y、式０３x、式０３y、式０３zで表される。

【０１４５】

Ｆｚ＝mb*(g+d2Zb/dt2) + msup*(g+d2Zsup/dt2)
+ mswg*(g+d2Zswg/dt2)　　……式０１

【０１４６】

Ｆｘ＝mb*d2Xb/dt2 + msup*d2Xsup/dt2 + mswg*d2Xswg/dt2
……式０２ｘ

【０１４７】

Ｆｙ＝mb*d2Yb/dt2 + msup*d2Ysup/dt2 + mswg*d2Yswg/dt2
……式０２ｙ

【０１４８】

Mx＝mb*(Yb－Yzmp)*(g+d2Zb/dt2) － mb*(Zb－Zzmp)*(d2Yb/dt2)
+msup*(Ysup－Yzmp)*(g+d2Zsup/dt2)
－ msup*(Zsup－Zzmp)*(d2Ysup/dt2)
+mswg*(Yswg－Yzmp)*(g+d2Zswg/dt2)
－ mswg*(Zswg－Zzmp)*(d2Yswg/dt2) + J*d2θbx/dt2
……式０３ｘ

【０１４９】

My＝－mb*(Xb－Xzmp)*(g+d2Zb/dt2) + mb*(Zb－Zzmp)*(d2Xb/dt2)
－msup*(Xsup－Xzmp)*(g+d2Zsup/dt2)
+ msup*(Zsup－Zzmp)*(d2Xsup/dt2)
－mswg*(Xswg－Xzmp)*(g+d2Zswg/dt2)
+ mswg*(Zswg－Zzmp)*(d2Xswg/dt2) + J*d2θby/dt2
……式０３ｙ

【０１５０】

Mz＝mb*(Xb－Xzmp)*(d2Yb/dt2) － mb*(Yb－Yzmp)*(d2Xb/dt2)
+msup*(Xsup－Xzmp)*(d2Ysup/dt2)
－ msup*(Ysup－Yzmp)*(d2Xsup/dt2)
+mswg*(Xswg－Xzmp)*(d2Yswg/dt2)
－mswg*(Yswg－Yzmp)*(d2Xswg/dt2)
+ Jbz*d2θbz/dt2 + Jaz*d2θaz/dt2

……式０３ｚ

【０１５１】

また、ロボット全体重心位置には次の関係式が成立する。

【０１５２】

ＺGtotal＝(mb*Zb + msup*Zsup + mswg*Zswg)/mtotal　……式０４

【０１５３】

ＸGtotal＝(mb*Xb + msup*Xsup + mswg*Xswg)/mtotal　……式０５ｘ

【０１５４】

ＹGtotal＝(mb*Yb + msup*Ysup + mswg*Yswg)/mtotal　……式０５ｙ

【０１５５】

以下に上記動力学モデルと前記ΔFp、ΔMp、ΔＦｒ、ΔＭｒの関係を示す。

【０１５６】

前記ΔFpは、式０２において、d2Xb/dt2を単位量だけ摂動させたときのFxの摂動量であるから、次式によって求められる。

【０１５７】

ΔFp＝mb　　…式０６

【０１５８】

すなわち、上体並進モードの単位加速度当たりの床反力の水平成分の変化ΔFpは、上記動力学モデルの上体質点３ｍの質量に相当する。

【０１５９】

前記ΔMpは、式０３において、d2Xb/dt2を単位量だけ摂動させたときのMyの摂動量であるから、次式によって求められる。

【０１６０】

ΔMp＝mb＊(Zb－Zzmp)　　…式０７

【０１６１】

すなわち、上体並進モードの単位加速度当たりの床反力モーメント成分の変化ΔＭｐは、上記動力学モデルの上体質点質量に、上体質点３ｍの目標ＺＭＰからの高さ（鉛直位置）を乗じたものになる。このときの上体質点３ｍ及び目標ＺＭＰの位置と、上体質点３ｍの運動との関係は、上体質点３ｍを倒立振子質点、目

標ＺＭＰを倒立振子支点に対応づけたときの倒立振子の挙動に相当する。

【０１６２】

前記ΔＦｒは、式０２において、d2θby/dt2を単位量だけ摂動させたときのFxの摂動量であるから、次式によって求められる。

【０１６３】

ΔＦｒ＝0　　…式０８

【０１６４】

すなわち、上体傾斜モードの単位加速度当たりの並進床反力水平成分の変化ΔFrは、０である。

【０１６５】

前記ΔＭｒは、式０３xにおいて、d2θby/dt2を単位量だけ摂動させたときのMyの摂動量であるから、次式によって求められる。

【０１６６】

ΔＭｒ＝Ｊ　　…式０９

【０１６７】

すなわち、上体傾斜モードの単位加速度当たりの床反力モーメント成分の変化ΔMrは、水平軸フライホイール（FHxおよびFhy）の慣性モーメントに相当する。

【０１６８】

前記ΔMbzは、式０３zにおいて、d2θbz/dt2を単位量だけ摂動させたときのMzの摂動量であるから、次式によって求められる。

【０１６９】

ΔＭｂｚ＝Ｊｂｚ　　…式０９ｂ

【０１７０】

すなわち、上体ヨー回転モードの単位加速度当たりの床反力モーメント成分の変化ΔMbzは、上体ヨー回転対応のフライホイールの慣性モーメントに相当する。

【０１７１】

前記ΔMazは、式０３zにおいて、d2θaz/dt2を単位量だけ摂動させたときのMzの摂動量であるから、次式によって求められる。

【０１７２】

ΔMaz＝Ｊaz　　…式０９a

【０１７３】

すなわち、逆位相腕振りの単位角加速度当たりの床反力モーメント成分の変化ΔMazは、腕振り対応のフライホイールFHazの慣性モーメントに相当する。

【０１７４】

本実施形態における歩容生成装置１００は、ロボット１の片方の脚体２が着地してから他方の脚体２が着地するまでの１歩分の目標歩容（前記狭義の意味での目標歩容）を単位として、その１歩分の目標歩容を順番に生成する。従って、本実施形態で生成する図２の走行歩容では、該目標歩容は片脚支持期の開始時から、これに続く空中期の終了時（次の片脚支持期の開始時）までの目標歩容が順番に生成される。ここで、新たに生成しようとしている目標歩容を「今回歩容」、その次の目標歩容を「次回歩容」、さらにその次の目標歩容を「次次回歩容」、というように呼ぶ。また、「今回歩容」の一つ前に生成した目標歩容を「前回歩容」と呼ぶ。

【０１７５】

また、歩容生成装置１００が今回歩容を新たに生成するとき、該歩容生成装置１００には、ロボット１の２歩先までの遊脚側足平２２の着地予定位置姿勢、着地予定時刻の要求値（要求）が歩容に対する要求パラメータとして入力される（あるいは歩容生成装置１００が記憶装置から要求パラメータを読み込む）。そして、歩容生成装置１００は、これらの要求パラメータを用いて、目標上体位置姿勢軌道、目標足平位置姿勢軌道、目標ＺＭＰ軌道、目標床反力鉛直成分軌道、目標腕姿勢軌道等を生成する。このとき、これらの軌道を規定する歩容パラメータの一部は、歩行の継続性を確保するように適宜修正される。

【０１７６】

以下に図２の走行歩容を生成することを例にして、歩容生成装置１００の歩容生成処理の詳細を図１２～図３４を参照しつつ説明する。図１２は、その歩容生成装置１００が実行する歩容生成処理を示すフローチャート（構造化フローチャート）である。

【０１７７】

まずＳ０１０において時刻ｔを０に初期化するなど種々の初期化作業が行なわれる。この処理は、歩容生成装置１００の起動時等に行なわれる。次いで、Ｓ０１２を経てＳ０１４に進み、歩容生成装置１００は、制御周期（図１２のフローチャートの演算処理周期）毎のタイマ割り込みを待つ。制御周期はΔｔである。

【０１７８】

次いで、Ｓ０１６に進み、歩容の切り替わり目であるか否かが判断され、歩容の切り替わり目であるときはＳ０１８に進むと共に、切り替わり目でないときはＳ０３０に進む。ここで、上記「歩容の切り替わり目」は、前回歩容の生成が完了し、今回歩容の生成を開始するタイミングを意味し、例えば前回歩容の生成を完了した制御周期の次の制御周期が歩容の切り替わり目になる。

【０１７９】

Ｓ０１８に進むときは時刻ｔが０に初期化され、次いでＳ０２０に進み、次回歩容支持脚座標系、次次回歩容支持脚座標系、今回歩容周期および次回歩容周期が読み込まれる。これらの支持脚座標系及び歩容周期は、前記要求パラメータにより定まるものである。すなわち、本実施形態では、歩容生成装置１００にジョイスティック４４等から与えらる要求パラメータは、２歩先までの遊脚側足平２２の着地予定位置姿勢（足平２２が着地してから足底を床面にほぼ全面的に接触させるように、滑らさずに回転させた状態での足平位置姿勢）、着地予定時刻の要求値を含んでおり、その１歩目の要求値、２歩目の要求値がそれぞれ、今回歩容、次回歩容に対応するものとして、今回歩容の生成開始時（前記Ｓ０１６の歩容の切り替わり目）以前に歩容生成装置１００に与えられたものである。なお、これらの要求値は今回歩容の生成途中でも変更することは可能である。

【０１８０】

そして、上記要求パラメータにおける１歩目の遊脚側足平２２（今回歩容での遊脚側足平２２）の着地予定位置姿勢の要求値に対応して次回歩容支持脚座標系が定まる。

【０１８１】

例えば図１５を参照して、今回歩容（１歩目）に係わる遊脚側足平２２（図で

は２２Ｌ）の着地予定位置姿勢の要求値が、今回歩容の支持脚側足平２２（図では２２Ｒ）の着地位置姿勢に対して、今回歩容支持脚座標系のＸ軸方向（今回歩容の支持脚側足平２２Ｒの前後方向）及びＹ軸方向（今回歩容の支持脚側足平２２Ｒの左右方向）に、それぞれxnext、ynextだけ移動し、且つＺ軸回り（鉛直軸回り）にθznextだけ回転させた位置姿勢であるとする。ここで、支持脚座標系は、支持脚側足平２２を水平姿勢（より一般的には床面に平行な姿勢）にして該支持脚側足平２２の底面のほぼ全面を床面に接触（密着）させた状態において、該支持脚側脚体２の足首中心から床面に延ばした垂線が該床面と交わる点（この点は、本実施形態の例では支持脚側足平２２の底面のほぼ全面を床面に接触させた状態では、該足平２２の代表点と合致する）を原点とし、その原点を通る水平面をＸＹ平面とするグローバル座標系（床に固定された座標系）である。この場合、Ｘ軸方向、Ｙ軸方向は、それぞれ支持脚側足平２２の前後方向、左右方向である。尚、支持脚座標系の原点は、必ずしも支持脚側足平２２の底面のほぼ全面を床面に接触させた状態での該足平２２の代表点（足平２２の位置を代表する点）に合致する必要はなく、該代表点と異なる床面上の点に設定されてもよい。

【０１８２】

このとき、次回歩容支持脚座標系は、図示のように今回歩容の遊脚側足平２２Ｌの着地予定位置姿勢の要求値に従って該足平２２を着地させた場合（足平２２の代表点を着地予定位置の要求値に一致させ、且つ、足平２２の姿勢（向き）を着地予定姿勢の要求値に一致させた場合）における該足平２２Ｌの代表点（より詳しくは該代表点に合致する床上の点）を原点とし、該原点を通る水平面内における該足平２２Ｌの前後方向、左右方向をそれぞれＸ’軸方向、Ｙ’軸方向とする座標系である。

【０１８３】

上記と同様に、２歩目の遊脚側足平２２の着地予定位置姿勢の要求値に応じて次々回歩容支持脚座標系（図１５のＸ”Ｙ”座標を参照）が定まる。また、今回歩容周期は、今回歩容の支持脚側足平２２の着地予定時刻（要求値）から、１歩目（今回歩容）の遊脚側足平２２の着地予定時刻（要求値）までの時間として定まり、次回歩容周期は、１歩目の遊脚側足平２２の着地予定時刻（要求値）から

２歩目の遊脚側足平２２の着地予定時刻（要求値）までの時間として定まる。

【０１８４】

尚、前記要求パラメータは、本実施形態ではジョイスティック４４の所要の操作によって歩容生成装置１００に入力されるものであるが、あらかじめ該要求パラメータあるいはこれに対応する上記の支持脚座標系の位置姿勢及び歩容周期をロボット１の移動スケジュールとして記憶しておいても良い。あるいは、ジョイスティック４４などの操縦装置からの指令（要求）とそのときまでのロボットの１の移動履歴とを基に前記次回及び次次回歩容支持脚座標系、並びに今回及び次回歩容周期を決定しても良い。

【０１８５】

次いでＳ０２２に進み、歩容生成装置１００は、今回歩容に続く仮想的な周期的歩容としての定常旋回歩容の歩容パラメータを決定する。該歩容パラメータは、定常旋回歩容における目標足平位置姿勢軌道を規定する足平軌道パラメータ、基準とする上体姿勢軌道を規定する基準上体姿勢軌道パラメータ、基準とする腕姿勢軌道を規定する基準腕姿勢軌道パラメータ、目標ＺＭＰ軌道を規定するＺＭＰ軌道パラメータ、目標床反力鉛直成分軌道を規定する床反力鉛直成分軌道パラメータを含む。さらに、目標床反力水平成分許容範囲を規定するパラメータも歩容パラメータに含まれる。

【０１８６】

尚、この明細書で「定常旋回歩容」は、その歩容を繰り返したときに歩容の境界（本実施形態では１歩毎の歩容の境界）においてロボット１の運動状態（足平位置姿勢、上体位置姿勢等の状態）に不連続が生じないような周期的歩容を意味するものとして使用する。以降、「定常旋回歩容」を「定常歩容」と略す場合もある。

【０１８７】

周期的歩容である定常旋回歩容は、本実施形態では、ロボット１の２歩分の歩容、すなわち今回歩容に続く第１旋回歩容と該第１旋回歩容に続く第２旋回歩容とからなる歩容を該定常旋回歩容の１周期分の歩容として、その１周期分の歩容を繰り返す歩容である。尚、ここで「旋回」なる用語を用いたのは、旋回率を零

とするときは直進を意味するので、直進も広義の意味で旋回に含ませることができるからである。また、生成する目標歩容が前記図２の走行歩容であると、その目標歩容の今回歩容は、片脚支持期及び空中期を有する走行歩容であるので、定常旋回歩容の第１旋回歩容及び第２旋回歩容は、いずれも今回歩容と同様に片脚支持期と空中期とを有する歩容である。つまり、第１旋回歩容及び第２旋回歩容の基本的な歩容形態は今回歩容と同一である。

【０１８８】

定常旋回歩容について補足すると、２足移動ロボットでは、定常旋回歩容の１周期分は、前記した狭義の意味での歩容が、少なくとも２歩分、必要である。そして、３歩以上の歩容を１周期分の歩容とする複雑な定常旋回歩容を設定することも可能である。但し、定常旋回歩容は、後述の如く、今回歩容の終端（終了時刻）における発散成分（詳細は後述する）を決定するためだけに用いられる。このため、３歩以上の歩容を１周期とする定常旋回歩容を用いることは、歩容生成の処理が煩雑となるにも関わらず、効果は少ない。そこで、本実施形態での定常旋回歩容の１周期分の歩容を２歩分の歩容（第１及び第２旋回歩容）により構成するようにしている。尚、３足以上の脚式移動ロボットにあっては、それに応じて定常旋回歩容を定義するに足る歩容数が増加する。以下では、説明の便宜上、複数の狭義の歩容（本実施形態では２歩分の歩容）から成る定常旋回歩容を１歩の歩容とみなす。

【０１８９】

定常旋回歩容は、歩容生成装置１００で今回歩容の終端における発散成分や上体鉛直位置速度、上体姿勢角及びその角速度等のロボット１の運動状態を決定するために暫定的に作成されるものであり、歩容生成装置１００からそのまま出力されるものではない。

【０１９０】

尚、「発散」とは、図１３に示すように、２足移動ロボット１の上体３の位置が両足平２２，２２の位置からかけ離れた位置にずれてしまうことを意味する。発散成分の値とは、２足移動ロボット１の上体３の位置が両足平２２，２２の位置（より具体的には、支持脚側足平２２の接地面に設定されたグローバル座標系

（支持脚座標系）の原点）からかけ離れていく具合を表す数値である。

【０１９１】

本実施形態では、目標歩容が、前記発散を生じることなく、継続的に生成されるように、発散成分を指標にして歩容を生成するようにした。ただし、継続的な歩容の代表例である定常歩容（歩容の軌道の不連続を発生することなく、同じパターンの歩容を繰り返すことができる周期的歩容であり、原理上、無限回繰り返しても発散しない歩容）の初期発散成分（定常歩容の初期時刻での発散成分）であっても、単純に０ではなく、定常歩容のパラメータが変われば、その初期発散成分も変わる。すなわち、歩き方あるいは走り方等の歩容形態によって、適切な発散成分が変わる。そこで、本実施形態では、これから生成しようとする今回歩容の後に続く定常歩容が前記今回歩容に係わる要求パラメータに応じて設定され、**定常歩容の初期発散成分を求めてから、今回歩容の終端発散成分を定常歩容の初期発散成分に一致させる（より一般的には、今回歩容を定常歩容に連続させもしくは近づける）ように、今回歩容を生成する。これのような歩容生成の基本的な指針は本出願人が先に提案した特願２０００－３５２０１１号のものと同様である。**

【０１９２】

本発明の実施形態では、特願２０００－３５２０１１号の第１実施形態で用いたような線形な３質点動力学モデルを用いていないが、次式で定義される発散成分および収束成分の概念は、図１０に示したモデルのような非線形な動力学モデルの挙動の摂動分に対しても、近似的に十分な精度で適用することができる。

【０１９３】

発散成分　＝　上体質点水平位置　＋　上体質点水平速度／ω0

…式１０

【０１９４】

収束成分　＝　上体質点水平位置　－　上体質点水平速度／ω0

…式１１

【０１９５】

ただし、ここでの上体質点水平位置は、図１０に示す前記動力学モデルにおい

ては、上体質点水平位置Xbを表す。

【０１９６】

また、ω0はある所定の値であり、走行時では、特願２０００－３５２０１１号の歩行歩容生成時の値に対して若干変更する必要がある。

【０１９７】

発散成分および収束成分に関するその他の詳細は、特願２０００－３５２０１１号に記述されているので、ここではこれ以上言及しない。

【０１９８】

本実施形態においては、特願２０００－３５２０１１号に示した方式に加え、さらに、後述するように、目標床反力鉛直成分軌道を規定する歩容パラメータを設定し、この目標床反力鉛直成分を動力学的に満足するようにロボット１の全体重心鉛直位置を決定する。この場合、床反力鉛直成分の２階積分値がロボット１の全体重心鉛直位置を規定するものになるので、目標床反力鉛直成分の設定が悪いと、ロボット１の全体重心鉛直位置もしくは上体鉛直位置が高くなり過ぎたり低くなり過ぎたりする。したがって、目標床反力鉛直成分の設定方法も重要な課題である。しかし、床反力鉛直成分と上体鉛直位置との関係は、ＺＭＰと上体水平位置との関係に似ているので、上体水平位置速度を適切にするための目標ＺＭＰ決定手法の一部を、以下の本実施形態に示すように、少し変更するだけで、上体鉛直位置速度を適切にするための目標床反力鉛直成分の決定手法に適用することができる。

【０１９９】

本題に戻り、Ｓ０２２では、図１４に示すフローチャートに従って、以下の処理が行われる。

【０２００】

まず、Ｓ１００において、今回歩容、第１旋回歩容、第２旋回歩容の順に足平位置姿勢軌道がつながるように、定常歩容の歩容パラメータのうちの足平軌道パラメータが決定される。以下に具体的な設定方法を図１５を参照して説明する。尚、以降の説明では、支持脚側の脚体２の足平２２を支持脚足平と称し、遊脚側の脚体２の足平２を遊脚足平を称する。また、歩容の「初期」、「終端」はそれ

ぞれ歩容の開始時刻、終了時刻もしくはそれらの時刻における瞬時歩容を意味する。

【０２０１】

足平軌道パラメータは、第１旋回歩容および第２旋回歩容の初期及び終端のそれぞれにおける支持脚足平及び遊脚足平のそれぞれの位置姿勢、各旋回歩容の歩容周期等から構成される。この足平軌道パラメータのうち、第１旋回歩容初期遊脚足平位置姿勢は、次回歩容支持脚座標系から見た今回歩容終端支持脚足平位置姿勢とされる。この場合、走行歩容では、今回歩容終端における支持脚足平２２は、空中に移動している。そして、今回歩容終端支持脚足平位置姿勢は、今回歩容初期支持脚足平位置姿勢（＝前回歩容終端遊脚足平位置姿勢）から、前記要求パラメータにおける２歩目の遊脚側足平２２の着地予定位置姿勢の要求値（今回歩容の支持脚足平２２の次回歩容における着地予定位置姿勢の要求値）もしくは該要求値に対応する次次回歩容支持脚座標系に応じて定まる次回歩容終端遊脚足平位置姿勢に至る足平位置姿勢軌道（詳しくは次回歩容支持脚座標系から見た軌道）を、今回歩容終端まで前記有限時間整定フィルタを用いて生成することにより求められる。

【０２０２】

尚、次回歩容終端遊脚足平位置姿勢は、その位置姿勢から足平２２を接地させたまま、つま先を下げるように該足平２２を水平姿勢までピッチ方向に所定角度回転させたときの該足平の位置姿勢が次次回歩容支持脚座標系の位置姿勢に合致するように決定される。換言すれば、次回歩容終端遊脚足平位置姿勢は、前記要求パラメータにおける２歩目の遊脚側足平２２の着地位置姿勢の要求値から、該足平２２をすべらないように接地させたまま、つま先を持ち上げるように該足平２２をピッチ方向に所定角度回転させた状態（つま先を上げてかかとを着地させた状態）での該足平２２の位置姿勢である。

【０２０３】

また、第１旋回歩容初期支持脚足平位置姿勢は、次回歩容支持脚座標系から見た今回歩容終端遊脚足平位置姿勢とされる。この場合、今回歩容終端遊脚足平位置姿勢は、前記次回歩容終端遊脚足平位置姿勢の場合と同様、前記次回歩容支持

脚座標系もしくはこれに対応する前記要求パラメータの１歩目（今回歩容）の遊脚着地予定位置姿勢の要求値に応じて定まるものである。すなわち、該今回歩容終端遊脚足平位置姿勢は、その位置姿勢から、足平２２を接地させたまま、つま先を下げるように該足平２２を回転させて該足平２２の底面のほぼ全面を床面に接地させたときの該足平の代表点が次回歩容支持脚座標系の原点に合致するように決定される。

【０２０４】

第１旋回歩容終端遊脚足平位置姿勢は、今回歩容終端遊脚足平位置姿勢や次回歩容終端遊脚足平位置姿勢の決定手法と同様に、次回歩容支持脚座標系から見た次次回歩容支持脚座標系の位置姿勢に基づいて決定される。より具体的には、第１旋回歩容終端遊脚足平位置姿勢は、その位置姿勢から足平２２を接地させたまま、すべらないように該足平２２を水平姿勢まで所定角度回転させたときの足平位置姿勢が、次回歩容支持脚座標系から見た次次回歩容支持脚座標系の位置姿勢に合致するように設定される。

【０２０５】

第１旋回歩容終端では、支持脚足平２２は離床して空中にある。支持脚足平２２が離床してから後の軌道を決定するために、第１旋回歩容支持脚足平着地予定位置姿勢が設定される。第１旋回歩容支持脚足平着地予定位置姿勢は、次回歩容支持脚座標系から見た次次次回歩容支持脚座標系の位置姿勢に基づいて設定される。より具体的には、第１旋回歩容支持脚足平着地予定位置姿勢は、次回歩容支持脚座標系から見た次次次回歩容支持脚座標系の位置姿勢である。なお、次次次回歩容支持脚座標系は、次次回歩容支持脚座標系と次次次回歩容支持脚座標系との相対的位置姿勢関係が、今回歩容支持脚座標系と次回歩容支持脚座標系との相対的位置姿勢関係と一致するように設定される。

【０２０６】

第１旋回歩容終端支持脚足平位置姿勢は、第１旋回歩容初期支持脚足平位置姿勢を求めた場合と同様に、第１旋回歩容初期支持脚足平位置姿勢から、前記第１旋回歩容支持脚足平着地予定位置姿勢に至る足平位置姿勢軌道（より詳しくは次回歩容支持脚座標系から見た軌道）を、第１旋回歩容終端まで前記有限時間整定

フィルタを用いて生成することにより求められる。

【０２０７】

第２旋回歩容初期遊脚足平位置姿勢は、次次回歩容支持脚座標系から見た第１旋回歩容終端支持脚足平位置姿勢とされる。第２旋回歩容初期支持脚足平位置姿勢は、次次回歩容支持脚座標系から見た第１旋回歩容終端遊脚足平位置姿勢とされる。

【０２０８】

第２旋回歩容終端遊脚足平位置姿勢は、今回歩容支持脚座標系から見た今回歩容終端遊脚足平位置姿勢とされる。第２旋回歩容終端支持脚足平位置姿勢は、今回歩容支持脚座標系から見た今回歩容終端支持脚足平位置姿勢とされる。

【０２０９】

第１旋回歩容および第２旋回歩容の歩容周期は、次回歩容周期と同一に設定される。これらの第１旋回歩容及び第２旋回歩容の歩容周期は、互いに同一にすることは必ずしも必要ではないが、いずれの周期も、少なくとも次回歩容周期に応じて決定するのが好ましい。尚、今回歩容、第１旋回歩容および第２旋回歩容の上記以外の運動パラメータ（両脚支持期時間などの時間パラメータを含む）は、上記決定されたパラメータに応じて、歩容の条件（アクチュエータの速度が許容範囲に入っているか、可動角を超えていないか、床などと干渉していないかなど）を満足するように適宜決定する。

【０２１０】

次に、Ｓ１０２に進み、目標上体姿勢が追従すべき基準上体姿勢軌道を規定する基準上体姿勢軌道パラメータが決定される。基準上体姿勢は、定常歩容の初期（第１旋回歩容の初期）と終端（第２旋回歩容の終端）とでつながるように（定常歩容の初期、終端での基準上体姿勢の姿勢角及びその角速度が一致するように）に設定されている限り、一定姿勢である必要はないが、本実施形態では理解を容易にするため、基準上体姿勢は、直立姿勢（鉛直姿勢）に設定される。つまり、本実施形態では、基準上体姿勢は、定常歩容の全期間において直立姿勢に設定される。従って、本実施形態では、基準上体姿勢の姿勢角の角速度及び角加速度は０である。基準上体姿勢の内のヨー角軌道（以降、基準ヨー角軌道とも呼ぶ）

θbzは、一定角速度（定常歩容の平均旋回速度）の運動にすれば良い。あるいは、後述の基準逆位相腕振り軌道の例（図５１）のようにサイン波状にしても良い。ただし、定常歩容を繰り返した時に基準ヨー角および角速度が連続となるように設定する。

【０２１１】

尚、本実施形態では、目標上体姿勢の内のヨー角軌道（以降、目標ヨー角軌道とも呼ぶ）は、基準ヨー角軌道に一致させるものとする。

【０２１２】

次に、Ｓ１０４に進み、基準腕姿勢軌道パラメータが決定される。具体的には、両腕全体の全体重心位置、左右の手先の左右方向の間隔および逆位相腕振り角に関するパラメータが決定される。基準逆位相腕振り角は、たとえば図２８のように左旋回する場合には、図５１のように設定すれば良い。図５１のように、基準逆位相腕振り角θazrefは、定常歩容を繰り返した時に歩容の境界（第２旋回歩容の終端と次の第１旋回歩容の境界）において逆位相腕振り角度および角速度が共に連続になり、かつ第１旋回歩容初期における支持脚と逆位相腕振り角度の相対関係が、次の第１旋回歩容初期における支持脚と逆位相腕振り角度の相対関係に一致するように設定される。すなわち、第１旋回歩容の初期逆位相腕振り角速度と第２旋回歩容の終端逆位相腕振り角速度が一致し、第２旋回歩容の終端逆位相腕振り角は、角定常歩容の旋回角（第１旋回歩容と第２旋回歩容の旋回角の和）に第１旋回歩容初期逆位相腕振り角を加えた値に設定される。図５１ではサイン波状の波形としたが、一定角速度に設定しても良い。あるいは、支持脚のヨー角と遊脚のヨー角の平均の値としても良い。

【０２１３】

尚、本実施形態では、目標腕姿勢の両腕全体の相対重心位置は、上体に対して一定に維持されるように設定される。

【０２１４】

次に、Ｓ１０６に進み、床反力鉛直成分軌道パラメータが設定される。この場合、該パラメータにより規定される床反力鉛直成分軌道が、第１旋回歩容および第２旋回歩容のいずれにおいても図３のように実質的に連続な（値がステップ状

に飛ばない）ものとなるように床反力鉛直成分軌道パラメータが設定される。すなわち、定常旋回歩容の目標床反力鉛直成分軌道は図１６のようなパターンで設定される。そのパターンでは、第１旋回歩容及び第２旋回歩容のいずれにおいても、片脚支持期では床反力鉛直成分が台形状に変化し、空中期では床反力鉛直成分が０に維持される。そして、このパターンの折れ点の時刻や、台形部分の高さ（ピーク値）が床反力鉛直成分軌道パラメータとして設定される。

【０２１５】

この床反力鉛直成分軌道パラメータの設定に際しては、床反力鉛直成分の歩容全期間（第１旋回歩容と第２旋回歩容両方の期間を合わせた期間で定常歩容の１周期の期間）における平均値をロボット１の自重と一致させる。すなわち、床反力鉛直成分の平均値がロボット１に作用する重力と同じ大きさで反対向きになるようにする。

【０２１６】

上記のごとく床反力鉛直成分軌道を設定することは、定常歩容の条件を満たすために必要である。定常歩容の条件とは、支持脚座標系（支持脚側足平２２の接地面に設定された座標系）から見た歩容のあらゆる状態変数（ロボット１の各部の位置、姿勢、速度等）の初期状態（第１旋回歩容の初期状態）と次の支持脚座標系（次の第１旋回歩容の支持脚座標系）から見た歩容の終端状態（第２旋回歩容の終端状態）が一致していることである（以下、この条件を定常歩容の境界条件ということがある）。したがって、定常歩容終端におけるロボット１の全体重心鉛直速度と定常歩容初期における全体重心鉛直速度との差（詳細には、第２旋回歩容終端の全体重心鉛直速度と第１旋回歩容初期の全体重心鉛直速度との差）も零でなければならない。上記差は床反力鉛直成分と重力との差の積分値（１階積分値）であるから、上記差を零にするためには、上記のごとく床反力鉛直成分軌道を設定する必要がある。

【０２１７】

尚、本実施形態では、床反力鉛直成分の第１旋回歩容、第２旋回歩容それぞれの期間における平均値をロボット１の自重と一致させるようにした。より具体的には、例えば第１旋回歩容及び第２旋回歩容の歩容周期に応じて各旋回歩容にお

ける床反力鉛直成分軌道の台形部分の折れ点の時刻を設定した上で、その台形部分の高さを、床反力鉛直成分の第１旋回歩容、第２旋回歩容それぞれの期間における平均値がロボット１の自重と一致するように決定した（台形の高さを未知数として、上記平均値及び自重の一致条件を表す方程式を解くことで台形の高さを求める）。

【０２１８】

こうすることにより、第１旋回歩容終端の全体重心鉛直速度と第１旋回歩容初期の全体重心鉛直速度との差も０、第２旋回歩容終端の全体重心鉛直速度と第２旋回歩容初期の全体重心鉛直速度との差も０になる。ただし、このようにする必然性はない。例えば、第１旋回歩容と第２旋回歩容との境界あたりで上体鉛直位置が高くなり過ぎたり低くなり過ぎたりして無理な姿勢になりそうな場合には、各旋回歩容で上記平均値及び自重を一致させた状態から各旋回歩容の床反力鉛直成分軌道の台形の高さ等を修正するようにしてもよい。

【０２１９】

次に、Ｓ１０８に進み、上記のごとく図１６のように設定された床反力鉛直成分軌道に応じて、床反力水平成分の許容範囲[Fxmin, Fxmax]（より詳しくはこれを規定するパラメータ）が図１７のように設定される。図１７の負側の折れ線が床反力水平成分許容下限値Fxmin、正側の折れ線が床反力水平成分許容上限値Fxmaxを表す。これらの設定方法に関して以下に補足する。以下では、床面が水平である場合について説明する。

【０２２０】

床反力水平成分は、床と足平２２との間の摩擦によって発生するが、摩擦はいくらでも発生できるわけではなく、限界がある。したがって、生成された目標歩容に従って実際のロボット１が移動した時にスリップしないようにするためには、目標歩容の床反力水平成分が、常に摩擦限界以内になければならない。そこで、この条件を満足させるために、床反力水平成分許容範囲を設定し、後述するように、目標歩容の床反力水平成分がこの許容範囲内になるように、目標歩容を生成することとした。

【０２２１】

床と足平２２との間の摩擦係数をμとすると、Fxminは、常に－μ*床反力鉛直成分以上に、Fxmaxはμ*床反力鉛直成分以下に設定されなければならない。最も単純な設定方法は、次式による設定である。ただし、kaは１より小さい正の定数である。

【０２２２】

Fxmin =－ka * μ* 床反力鉛直成分

Fxmax = ka * μ* 床反力鉛直成分

…式１２

【０２２３】

図１７の床反力水平成分許容範囲は、式１２にしたがって設定した例である。床反力水平成分許容範囲を規定するパラメータとして、図１７の台形波形などの折れ点での値と時刻を設定してもよいが、式１２により床反力水平成分許容範囲を決定するときには、単に式１２における(ka＊μ)の値をパラメータとして設定するだけでも良い。

【０２２４】

尚、上記条件（目標歩容の床反力水平成分を常に摩擦限界以内にするという条件）を満足しているならば、他の設定方法で床反力水平成分許容範囲を設定するようにしても構わない。

【０２２５】

次に、Ｓ１０９に進み、上記のごとく図１６のように設定された床反力鉛直成分軌道などに応じて、床反力モーメント鉛直成分の許容範囲[Mzmin, Mzmax]（より詳しくはこれを規定するパラメータ）が図４１のように設定される。図４１の負側の折れ線が床反力モーメント鉛直成分許容下限値Mzmin、正側の折れ線が床反力モーメント鉛直成分許容上限値Mzmaxを表す。これらの設定方法に関して以下に補足する。以下では、床面が水平である場合について説明する。

【０２２６】

床反力モーメント鉛直成分は、床と足平２２との間の摩擦によって発生するが、摩擦はいくらでも発生できるわけではなく、限界がある。したがって、生成された目標歩容に従って実際のロボット１が移動した時にスピンしないようにする

ためには、目標歩容の床反力モーメント鉛直成分が、常に摩擦限界以内になければならない。そこで、この条件を満足させるために、床反力モーメント鉛直成分許容範囲を設定し、後述するように、目標歩容の床反力モーメント鉛直成分がこの許容範囲内になるように、目標歩容を生成することとした。

【０２２７】

床と足平２２との間の摩擦係数をμ、鉛直モーメントを発生するための床と足平２２との間の接触面の有効半径（あるいは床と足平２２との間の接触面の目標ＺＭＰまわりの断面２次モーメントの平方根）をｒとすると、Mzminは、常に－μ＊ｒ＊床反力鉛直成分以上に、Mzmaxはμ＊ｒ＊床反力鉛直成分以下に設定されなければならない。最も単純な設定方法は、次式による設定である。ただし、kaは１より小さい正の定数である。

【０２２８】

Fxmin =－ka * μ * r * 床反力鉛直成分

Fxmax =　ka * μ * r * 床反力鉛直成分

…式１０１２

【０２２９】

図４１の床反力モーメント鉛直成分許容範囲は、式１０１２にしたがって設定した例である。床反力モーメント鉛直成分許容範囲を規定するパラメータとして、図４１の台形波形などの折れ点での値と時刻を設定してもよいが、式１０１２により床反力モーメント鉛直成分許容範囲を決定するときには、単に式１０１２における(ka＊μ)の値をパラメータとして設定するだけでも良い。ｒは、各瞬間において目標ＺＭＰと接地面から算出するのが良いが、定数としても構わない。

【０２３０】

尚、上記条件（目標歩容の床反力モーメント鉛直成分を常に摩擦限界以内にするという条件）を満足しているならば、他の設定方法で床反力モーメント鉛直成分許容範囲を設定するようにしても構わない。

【０２３１】

さらには、床反力水平成分許容範囲と床反力モーメント鉛直成分許容範囲を独立に設定するのではなく、床反力水平成分と床反力鉛直成分モーメントの組み合

わせの許容範囲を設定するようにしても良い。なぜなら、床反力水平成分が大きくなると、床反力モーメント鉛直成分の許容範囲が狭くなり、また、床反力モーメント鉛直成分が大きくなると、床反力水平成分の許容範囲が狭くなるからである。

【０２３２】

次に、Ｓ１１０に進み、第１旋回歩容および第２旋回歩容を合わせた定常歩容のＺＭＰ軌道を規定するＺＭＰ軌道パラメータが設定される。この場合、目標ＺＭＰ軌道は、前述したように安定余裕が高くかつ急激な変化をしないように設定される。

【０２３３】

さらに詳細には、図２の走行歩容においては、支持脚足平２２のかかとで着地した後、しばらくして該支持脚足平２２の底面のほぼ全面が接地し、さらにしばらくして、支持脚足平２２のつま先だけが接地する。そして、次に支持脚足平２２のつま先で蹴って空中に飛び上がり、最後に遊脚足平２２のかかとで着地する。また、目標ＺＭＰは接地面内に存在しなければならない。そこで、本実施形態では、定常歩容の第１旋回歩容及び第２旋回歩容のそれぞれの目標ＺＭＰのＸ軸方向の位置は、前記図４の上段図に示したように、支持脚足平２２のかかとを初期位置として、該足平２２の底面のほぼ全体が接地するまでその位置に留まるように設定される。次に、目標ＺＭＰは支持脚足平２２の中央に移動し、該足平２２がつま先接地状態になるまでにつま先に移動し、その後、離床時まで支持脚足平２２のつまさきに留まるように設定される。さらにその後は、目標ＺＭＰは、前述のごとく、次の遊脚足平２２の着地までに目標ＺＭＰが、支持脚足平２２のつまさきから遊脚足平２２のかかとの着地位置まで連続的に移動するように設定される。したがって、第１旋回歩容と第２旋回歩容とから成る定常歩容の目標ＺＭＰ軌道（Ｘ軸方向の軌道）は、図１８のようになる。そして、この目標ＺＭＰ軌道の折れ点の時刻及び位置がＺＭＰ軌道パラメータとして設定される。この場合、折れ点の時刻は、前記要求パラメータに応じて定めた第１旋回歩容及び第２旋回歩容の歩容周期に応じて設定され、該折れ点の位置は、次回歩容支持脚座標系及び次次回歩容支持脚座標系の位置姿勢あるいはこれらの座標系を規定する要

求パラメータの１歩目及び２歩目の遊脚側足平着地予定位置姿勢の要求値に応じて設定される。尚、ＺＭＰ軌道のＹ軸方向の位置は、前記図４の下段図に示したものと同様に設定される。より詳しくは、第１旋回歩容における目標ＺＭＰのＹ軸方向位置の軌道は、図４の下段図のものと同一パターンで設定され、第２旋回歩容における目標ＺＭＰのＹ軸方向位置の軌道は、第１旋回歩容のものと同じ形の軌道で、該軌道の終端につながるものに設定される。

【０２３４】

次に、Ｓ１１２に進み、定常歩容１歩（１周期）の初期時刻、終端時刻、期間が以下のように再定義される。

【０２３５】

定常歩容は、その初期と終端での状態変数が連続的につながる歩容でなければならない。このような歩容の決定を容易にするために、本実施形態では、定常歩容を決定するまでは、前述の狭義の歩容の定義とは異なり、定常歩容の１歩の初期、終端、期間を便宜上、図１６のように定める。すなわち、第１旋回歩容の片脚支持期の後半において床反力鉛直成分がある程度減少した時刻を定常歩容の初期時刻Tsとして設定する。なお、初期時刻Tsは、図４に示すように、支持脚足平２２の底面のほぼ全面が接地した状態からつま先接地に変わる瞬間あるいはその直前の時刻（図４の足底全面接地期間の終了時刻もしくはその直前の時刻）に設定するのが望ましい。また、Ｓ１１０において設定した図１８（または図４）に示す目標ＺＭＰと時刻Tsとの関係を説明すると、第１旋回歩容において支持脚足平２２の底面のほぼ全面が接地した後に、目標ＺＭＰが支持脚足平２２の中央に移動し、つま先接地状態になるまでにつま先に移動を完了した瞬間が、時刻Tsとなっているのが望ましい。このような初期時刻Tsは例えば先に設定した目標ＺＭＰ軌道パラメータに応じて設定される。上記のごとく初期時刻Tsを設定する理由は後述する。

【０２３６】

また、図１６に示すように、定常歩容の周期Tcycは第１旋回歩容と第２旋回歩容の歩容周期の和である。定常歩容の終端時刻をTeとする。Teは、TsにTcycを加えた時刻に設定される。

【０２３７】

定常歩容が決定された時点（後述の図１９のＳ２０４のループを抜けた時点）から、改めて、歩容の初期、終端等の定義を、前述の狭義の歩容の定義に戻すこととする。以下の説明では、前述の狭義の歩容の定義による初期時刻（支持脚側足平２２の着地当初の時刻）を０とし、定常歩容を決定するまで用いる上記初期時刻Tsを参照符号Tsを用いて（単に「Ts」と省略することもある）本来の初期時刻０と区別する。

【０２３８】

最後にＳ１１４に進み、定常歩容の上体姿勢角・逆位相腕振り角復元期間[Tm，Ts2]および[Tm2，Te]を設定する。補足すると、定常歩容を繰り返した時に歩容の境界において上体姿勢角および逆位相腕振り角連続であるべきである。そのためには、**定常歩容の初期上体姿勢角速度と終端上体姿勢角速度が一致し、定常歩容の初期逆位相腕振り角速度と終端逆位相腕振り角速度が一致しなければならない。前記期間は、そのようにするための、上体姿勢角軌道と位相腕振り角軌道を調整する期間である。尚、上体姿勢角を復元（調整）する期間と逆位相腕振り角を復元（調整）する期間を別々に設定しても良い。**

【０２３９】

具体的には、初期時刻Tsから第１旋回歩容の空中期を経て第２旋回歩容になり、床反力鉛直成分がある所定の大きさまで増加した時刻Tmが設定される。さらに、第２旋回歩容の片脚支持期の後半において床反力鉛直成分がある程度減少した時刻Ts2が設定される。さらに、第２旋回歩容の空中期を経て第１旋回歩容になり、床反力鉛直成分がある所定の大きさまで増加した時刻Tm2が設定される。

【０２４０】

図１６にこれらの時刻を示す。時刻Tmは、支持脚足平２２の底面のほぼ全面が接地した瞬間あるいはその直後に設定するのが望ましい。時刻Tm2も同様である。また、時刻Ts2は、前記初期時刻Ts同様、足平２２の底面のほぼ全面が接地した状態からつま先接地に変わる瞬間あるいはその直前に設定するのが望ましい。

【０２４１】

また、前記図１４のＳ１１０において設定した図１８の目標ＺＭＰとこれらの

時刻Tm，Ts2，Tm2との関係を説明すると、第２旋回歩容において、目標ＺＭＰが、支持脚足平２２のかかとを初期位置として、該足平２２の底面のほぼ全体が接地するまでその位置に留まり、次に支持脚足平２２の中央に移動し始める瞬間を時刻Tmとすることが望ましい。その後、支持脚足平２２のつま先だけ接地した状態になるまでに、目標ＺＭＰがつま先に移動を完了した瞬間を、時刻Ts2とすることが望ましい。さらに次の第１旋回歩容において、目標ＺＭＰが、支持脚足平２２のかかとを初期位置として該足平２２の底面のほぼ全体が接地するまでその位置に留まり、次に支持脚足平２２の中央に移動し始める瞬間を時刻Tm2とすることが望ましい。

【０２４２】

上記のごとく設定する理由は後述する。

【０２４３】

図１２のＳ０１０からＳ０２２までに示す処理が行われた後、Ｓ０２４に進み、定常歩容の初期状態が算出される。ここで算出される初期状態は、定常歩容の初期上体水平位置速度（水平方向での初期上体位置及び初期上体速度）、初期上体鉛直位置速度（鉛直方向での初期上体位置及び初期上体速度）、初期発散成分、初期上体姿勢角、角速度、および初期逆位相腕振り角度、角速度である。この初期状態の算出は、図１９のフローチャートに従って、探索的に行なわれる。

【０２４４】

図１９フローチャートにおいては、先ず、Ｓ２００において、定常歩容の歩容パラメータ（前記図１２のＳ０２２で設定したパラメータ）に基づいて、目標足平位置姿勢、目標腕姿勢、および目標上体姿勢角（傾斜角とヨー角）の初期状態（初期時刻Tsでの状態）が決定される。ここで状態とは、位置や姿勢角とその変化率（時間微分）とを表す。

【０２４５】

この場合、支持脚側の目標足平位置姿勢の初期状態は、前記図１４のＳ１００で決定した足平軌道パラメータの第１旋回歩容初期支持脚足平位置姿勢から、第２旋回歩容終端遊脚足平位置姿勢に至る足平位置姿勢軌道（次回歩容支持脚座標系から見た軌道）を時刻Tsまで有限時間整定フィルタにより生成することにより

決定される。遊脚側の目標足平位置姿勢の初期状態は、次回歩容支持脚座標系から見た今回歩容初期支持脚足平位置姿勢から、第１旋回歩容終端遊脚足平位置姿勢に至る足平位置姿勢軌道を時刻Tsまで有限時間整定フィルタにより生成することにより決定される。また、目標腕姿勢の初期状態は、図１４のＳ１０４で決定した基準腕姿勢軌道パラメータに基づいて求められる時刻Tsにおける基準腕姿勢に決定される。より具体的には、目標腕姿勢の内の両腕体の全体重心位置、左右の手先の左右方向の間隔および逆位相腕振り角・角速度が決定されるが、逆位相腕振り角・角速度は、後述するように、定常歩容を繰り返した時に歩容の境界で連続するように修正されるので、ここではまだ仮に決定されただけである。
また、目標上体姿勢角の初期状態は、図１４のＳ１０２で決定した基準上体姿勢軌道パラメータにより定まる時刻Tsにおける基準上体姿勢（傾斜角およびヨー角）及びその角速度が該目標上体姿勢角の初期状態として決定される。なお、本実施形態では、基準上体姿勢は鉛直姿勢であるので、目標上体姿勢角の内の傾斜成分の初期状態（傾斜角及びその角速度）は０である。

【０２４６】

また、本実施形態では、定常歩容の目標足平位置姿勢軌道、床反力鉛直成分軌道、及び目標ＺＭＰ軌道は、それぞれ、図１４のフローチャートで決定した足平軌道パラメータ、床反力鉛直成分軌道パラメータ、ＺＭＰ軌道パラメータにより互いに独立的に決定される。例えば定常歩容の瞬時瞬時の目標足平位置姿勢は、床反力鉛直成分の瞬時値に依存することなく足平軌道パラメータに応じて決定される。

【０２４７】

次いでＳ２０２において初期上体水平位置速度の候補（すなわち初期時刻Tsでの上体水平位置速度候補）である（Ｘs，Ｖxs）（Ｘs：水平位置、Ｖxs：水平速度）が仮決めされる。ここで仮決めする候補（Ｘs，Ｖxs）は、任意でよいが、例えば前回歩容の生成時に求めた定常歩容の初期状態における上体水平位置速度を仮決め候補（Ｘs，Ｖxs）とすればよい。

【０２４８】

尚、説明を簡略にするため、サジタルプレーン上でＸ方向（前後方向）での定

常歩容の初期状態を探索する場合を例にとるが、実際には位置・速度ともＸ方向（前後方向），Ｙ方向（左右方向）を別々にあるいは同時に定常歩容の初期状態（定常歩容の前記境界条件を満たす初期状態）を探索する必要がある。

【０２４９】

補足すると、サジタルプレーン上では、ヨー回転やモーメント鉛直成分など鉛直軸まわりに関する概念は存在しないので、少なくともヨー回転やモーメント鉛直成分に関しては、３次元空間で演算される。

【０２５０】

探索的な決定手法としては、擬似ヤコビアン（感度マトリックス）を求め、最急降下法などにより次候補を決定する方法や、シンプレックス法などを用いれば良い。本実施例では、最急降下法を用いる。

【０２５１】

次いで、Ｓ２０４を経てＳ２０６において、定常歩容を繰り返した時に上体鉛直位置速度が連続になり、かつ、膝等の関節角が伸び過ぎたり縮み過ぎたりしないように、初期（時刻Ts）上体鉛直位置速度（Zs，Ｖzs）（Zs：鉛直位置、Ｖzs：鉛直速度）が、決定される。これについての詳細は、本願出願人が先に出願したＰＣＴ／ＪＰ０２／１３５９２に記載されているので、ここでは省略する。

【０２５２】

Ｓ２０６の処理の後、次いでＳ２０８に進み、定常旋回歩容が仮に生成される。より具体的には、前記図１２のＳ０２２で決定した定常歩容の歩容パラメータを基に、初期時刻Tsから終端時刻Teまでの各瞬間における目標ＺＭＰ、目標床反力鉛直成分、目標足平位置姿勢、基準上体姿勢、目標腕姿勢、床反力水平成分許容範囲および床反力モーメント鉛直成分許容範囲が逐次求められる。そして、求めた目標ＺＭＰと目標床反力鉛直成分とに関する動力学的平衡条件、並びに床反力水平成分許容範囲の条件を満足するように、前記動力学モデル（図１０のモデル）を用いて、前記上体水平位置速度（Ｘs，Ｖｘs）、上体鉛直位置速度（Zs，Ｖｚs）を上体３の初期（時刻Ts）状態として、上体位置姿勢を逐次決定することによって、時刻Tsから終端時刻Teまでの歩容を生成する。また、この時、上体姿勢は、基準上体姿勢になるべく一致するように生成される。

また、床反力モーメント鉛直成分に関する条件を満足するように、逆位相腕振り動作が決定される。

【０２５３】

尚、この定常歩容の歩容生成は歩容生成装置１００の内部で行われるだけであって、実際のロボット１を駆動するための目標値として、後述する複合コンプライアンス動作決定部１０４に出力されることはない。

【０２５４】

以下に、Ｓ２０８の処理である逐次演算による定常歩容生成処理の詳細を説明する。

【０２５５】

図２０はその処理を示すサブルーチンフローチャートである。

【０２５６】

以下説明すると、Ｓ３００において、諸々の初期化が行われる。具体的には、仮歩容生成用時刻kに初期時刻Tsを代入する。さらに、上体水平位置速度に、現在仮決定されている（Ｘs，Ｖｘs）（図１９のＳ２０２もしくは後述のＳ２１６もしくはＳ２１８で決定されたもの）が代入され、上体鉛直位置速度に、前記Ｓ２０６で求めた最新の（Zs，Ｖｚs）が代入される。また、上体姿勢角には、基準上体上体姿勢角初期値（初期時刻Tsでの角度）上体姿勢角速度には、基準上体上体姿勢角速度初期値（初期時刻Tsでの角速度）が代入される。
逆位相腕振り角には、基準初期逆位相腕振り角（初期時刻Tsでの角度）逆位相腕振り角速度には、基準初期逆位相腕振り角速度（初期時刻Tsでの角速度）が代入される。

【０２５７】

次いで、Ｓ３０２を経てＳ３０４において、仮歩容生成用時刻kが歩容終端時刻以前であるか否か（$k \leqq Ts + Tcyc$であるか否か）が判断され、その判断結果がＹＥＳである場合には、Ｓ３０６の歩容瞬時値決定サブルーチンに進み、歩容瞬時値が決定される。次いで歩容生成装置１００の処理は、Ｓ３０８に進み、仮歩容生成用時刻kをΔkだけ増やした後、Ｓ３０４に戻る。

【０２５８】

ここで、Δkは、仮歩容生成のインターバルであり、通常、制御周期Δｔと一致させておけば良い。なお、Δkは、仮歩容の動力学的精度を落としても良いならば、演算量を低減するために、ΔkをΔｔよりも長く設定しても良い。

【０２５９】

Ｓ３０４の判断結果がＮＯである場合には、Ｓ３１０に進む。以上の処理により、Ｓ３１０に進むまでに定常歩容が初期から終端まで生成される。

【０２６０】

以下に、Ｓ３０６の歩容瞬時値決定サブルーチンの詳細を図２１を参照して説明する。

【０２６１】

まず図２１のＳ４００において、定常歩容パラメータ（床反力鉛直成分軌道パラメータ）を基に、前記図１６に示した目標床反力鉛直成分の時刻kにおける値（今回値）が求められる。さらに、Ｓ４０２において、定常歩容パラメータ（ＺＭＰ軌道パラメータ）を基に、前記図１８に示した目標ＺＭＰ軌道の時刻kにおける値（今回値）が求められる。

【０２６２】

次いでＳ４０４に進み、定常歩容パラメータ（足平軌道パラメータ、基準上体姿勢軌道パラメータ、及び腕姿勢軌道パラメータ）を基に、時刻kにおける目標両足平位置姿勢（支持脚側及び遊脚側の両者の目標足平位置姿勢）、基準上体姿勢および基準腕姿勢の値（今回値）が求められる。基準腕姿勢に関しては、具体的には、両腕全体の全体重心位置、左右の手先の左右方向の間隔および逆位相腕振り角の値（今回値）が求められる。

【０２６３】

尚、目標足平位置姿勢の今回値（時刻ｋでの値）は、前記図１９のＳ２００で初期時刻Tsでの足平位置姿勢を求めた場合と同様に求められる。

【０２６４】

次いでＳ４０６に進み、目標床反力鉛直成分を満足する（ロボット１の鉛直方向の慣性力と重力との和を目標床反力鉛直成分に釣り合わせる）ような時刻kにおける全体重心鉛直位置速度の値（今回値）が算出される。具体的には、例えば

前記図１０の動力学モデルに係わる前記式０１と式０４とに基づいて、全体重心鉛直位置速度が算出される。すなわち、式０１と式０４とによれば、ロボット１の運動による全体重心鉛直加速度と重力加速度との和にロボット１の全体質量を乗算したものが床反力鉛直成分に等しいという関係式（ロボット１の全体重心の鉛直方向に関する運動方程式）が得られる。従って、この関係式と目標床反力鉛直成分とから、全体重心鉛直加速度が求められる。

【０２６５】

尚、この関係式自体は、ロボット１のモデルに依存することなく一般的に成立するものである。そして、この求めた全体鉛直加速度を積分することにより、全体重心鉛直速度が算出され、さらにその全体重心鉛直速度を積分することにより、全体重心鉛直位置が算出される。これらの算出は、より一般的には、次式１５および式１６で表される動力学関係式（ニュートンの運動方程式を離散化した式）を用いて行なわれる。

【０２６６】

時刻kにおける全体重心鉛直速度

＝ 時刻(k－Δk)における全体重心鉛直速度

＋（(床反力鉛直成分／ロボットの全体質量)+ 重力加速度)* Δk

（ただし、重力加速度は負の値とする。）

…式１５

【０２６７】

時刻kにおける全体重心鉛直位置

＝　時刻(k－Δk)における全体重心鉛直位置

＋　時刻kにおける全体重心鉛直速度* Δk

…式１６

【０２６８】

次いでＳ４０８に進み、全体重心鉛直位置を満足する上体鉛直位置が算出される。具体的には、例えば前記図１０のモデルに係わる式０４を用いて上体鉛直位置が算出される。すなわち、支持脚側及び遊脚側の目標足平位置姿勢の今回値から、図１０のモデルの支持脚質点２ｍ及び遊脚質点２ｍの鉛直位置が求められる

。そして、これらの求めた支持脚質点２ｍ及び遊脚質点２ｍの鉛直位置と、Ｓ４０７で求めた全体重心鉛直位置の今回値とを式０４に適用することで、上体質点３ｍの鉛直位置が求められる。さらに、この求めた上体質点３ｍの鉛直位置と目標上体姿勢角の現在値（Ｓ４０４で設定された基準上体姿勢角または後述のＳ４１４で決定された前回（時刻ｋ－Δｋ）の目標上体姿勢角）とから上体鉛直位置が求められる。

【０２６９】

次いでＳ４１０に進み、前記図１４のＳ１０８で決定した歩容パラメータ（床反力水平成分許容範囲を規定するパラメータ）に基づいて、図１７に示した床反力水平成分許容範囲[Fxmin, Fxmax]の時刻kにおける値（今回値）が求められる。

【０２７０】

次いでＳ４１１に進み、前記図１４のＳ１０９で決定した歩容パラメータ（床反力モーメント鉛直成分許容範囲を規定するパラメータ）に基づいて、図４１に示した床反力モーメント鉛直成分許容範囲[Mzmin, Mzmax]の時刻kにおける値（今回値）が求められる。

【０２７１】

次いでＳ４１２に進み、目標ＺＭＰに関する動力学的平衡条件（ロボット１の慣性力と重力との合力が目標ＺＭＰまわりに発生するモーメントの水平成分が０であるという条件）を満足するように、目標上体水平加速度と目標上体姿勢加速度との今回値が決定される。ただし、床反力水平成分Fxが[Fxmin, Fxmax]を越えないように、上体水平加速度と上体姿勢角加速度（より詳しくは、上体傾斜角加速度）とが決定される。

また、床反力モーメント鉛直成分Mzが[Mzmin, Mzmax]を越えないように、目標逆位相腕振り角加速度の今回値が決定される。

尚、上体姿勢角の内、ヨー角は基準上体姿勢角の内のヨー角に一致するように決定される。また、目標腕姿勢に関しては、逆位相腕振り角以外の成分は、基準腕姿勢に一致するように決定される。また、この際、上記条件を満足しつつも、目標上体傾斜角と目標逆位相腕振り角は、それぞれ基準上体傾斜角と基準逆位相腕

振り角になるべく追従するように決定される。
以下にこの詳細を説明する。

【０２７２】

この時点において、前記の如く足平位置姿勢および上体鉛直位置の瞬時値（今回値）が決定されており、また、腕姿勢に関して、逆位相腕振り角以外の成分は、基準腕姿勢のそれに一致するように決定されるとなると、残りの上体水平位置と上体姿勢角と逆位相腕振り角とを決定すれば、ロボット１の目標運動は一義的に決定できる。したがって、すべての床反力も一義的に決定される。なお、本実施形態では、定常歩容の目標床反力鉛直成分及び目標ＺＭＰは、それぞれ前記図１２のＳ０２２で決定した床反力鉛直成分軌道パラメータ及び目標ＺＭＰ軌道パラメータによって規定される。

【０２７３】

ところで、歩容生成において、前記上体並進モードをあまり用いずに主に上体傾斜モードを用いることにより、目標ＺＭＰを満足させる（目標ＺＭＰまわりの床反力モーメントの水平成分を０にする）と、上体姿勢角が大きく振れ過ぎてしまう恐れがある。したがって、これを防ぐためには、なるべく上体並進モードを用いるべきである。しかし、上体並進モードは、床反力水平成分の変化を伴うので、床反力水平成分許容範囲が狭い場合には、上体並進モードを強く働かせるとスリップする恐れがある。この場合には、上体傾斜モードに頼るしかない。特に、前記走行歩容のように床反力水平成分許容範囲が０となる期間では、床反力水平成分を発生させるような歩容を生成することはできないので、上体傾斜モードに頼らざるを得ない。

【０２７４】

一方、逆位相腕振り運動は、目標ＺＭＰまわりの床反力モーメントの水平成分および床反力水平成分のいずれも変化させることなく、床反力モーメント鉛直成分のみを変化させることができるので、床反力モーメント鉛直成分が前記床反力モーメント鉛直成分許容範囲を越えないようにするために用いることができる。
以上のことを考慮し、本実施形態では、図２２に示すフローチャートに従って、上体水平加速度と上体姿勢角加速度と逆位相腕振り加速度とが決定される。

【０２７５】

まずＳ５００において、目標上体ヨー角に時刻kでの基準上体ヨー角の値を代入する。また、腕姿勢逆位相腕振り角・角速度成分を除き、目標腕姿勢に時刻kでの基準腕姿勢の値を代入する。

【０２７６】

次にＳ５０２において現在時刻（定常歩容作成用タイマーの値）kが、上体姿勢角・逆位相腕振り角復元期間（定常歩容の場合、上体姿勢角・逆位相腕振り角復元期間は、時刻Tmから時刻Ts2の期間および時刻Tm2からTeまでの期間である。）の間にあるか否かが判定される。Ｓ５０２の判定結果がＮＯであるならば、Ｓ５０４に進み、ＹＥＳであるならばＳ５３０に進む。

【０２７７】

Ｓ５０４では、ロボット１の前回瞬時歩容状態（時刻ｋ－１の歩容状態）から、仮に、上体傾斜モードの角加速度を０にして、上体並進モードの運動をロボット１にさせた場合に今回（時刻ｋ）の目標ＺＭＰを満足するために必要な上体水平加速度αtmpが求められる。このαtmpは、例えば前記図１０の動力学モデルに係わる前記式０３を用いて求められる。より具体的には、例えば、現在時刻ｋまでに求められた目標足平位置姿勢の時系列値を用いて、現在時刻ｋにおける支持脚質点２ｍ及び遊脚質点２ｍの鉛直加速度が求められると共に、現在時刻ｋ（今回）の目標足平位置姿勢を用いて支持脚質点２ｍ及び遊脚質点２ｍの鉛直位置が求められる。また、現在時刻ｋ（今回）の床反力鉛直位置を用いて上体質点３ｍの鉛直位置が求められると共に、現在時刻ｋまでに求めた目標上体鉛直位置の時系列値を用いて現在時刻ｋにおける上体質点３ｍの鉛直加速度が求められる。そして、これらの求めた値を前記式０３に代入すると共に、同式０３のMy、d2θby/dt2を０にしてなる式を、d2Xb/dt2について解くことにより、上体質点水平加速度d2Xb/dt2が上体水平加速度αtmpとして求められる。尚、より厳密な動力学モデルを用いて、目標ＺＭＰ回りの床反力モーメントの水平成分を零にするような上体水平加速度αtmpを探索的に求めるようにしてもよい。また、本実施形態では、基準上体姿勢が鉛直姿勢で、基準上体姿勢による上体姿勢角加速度が０であるため、上体傾斜モードの角加速度を０にして上体水平加速度αtmpを求めるよ

うにした。但し、基準上体姿勢が変化するように該基準上体姿勢軌道パラメータを設定した場合で、それにより定まる現在時刻ｋにおける基準上体姿勢角加速度が０でない場合には、上体傾斜モードの角加速度をその０でない基準上体姿勢角加速度の値にして、上体水平加速度αtmpを動力学モデルを用いて求める（例えば式０３のd2θby/dt2を０でない基準上体姿勢角加速度に設定して上記と同様に上体水平加速度αtmpを求める）ようにすればよい。

【０２７８】

次に、Ｓ５０６に進み、上体水平加速度がαtmpの場合の時刻ｋにおける床反力水平成分Fxtmpが動力学モデルを用いて求められる。本実施形態においては、前記動力学モデルの式０２を用いてFxtmpが求められる。すなわち、次式１７によってFxtmpが求められる。但し、d2Xsup／dt2およびd2Xswg／dt2はそれぞれ時刻ｋにおける支持脚足平質点水平加速度、遊脚足平質点水平加速度を表す。

【０２７９】

Fxtmp = mb * α tmp + msup*d2Xsup／dt2

+ mswg*d2Xswg／dt2　　…式１７

【０２８０】

このようにして求められるFxtmpの例を図２３に示す。図２３に、Fxtmpが床反力水平成分許容範囲[Fxmin, Fxmax]を越えている部分を斜線で示す。

【０２８１】

次に、Ｓ５０８に進み、上体並進モードの上体水平加速度α、これによって発生する床反力水平成分Fx、上体傾斜モードの上体角加速度βが次のように決定される（Ｓ５０８～Ｓ５１６）。

【０２８２】

すなわち、

Fxtmp ＞ Fxmaxならば、Ｓ５１０に進み、次式によりＦxが決定される。

【０２８３】

Fx = Fxmax　　…式１８

【０２８４】

Fxtmp ＜ Fxminならば、Ｓ５１２に進み、次式によりＦxが決定される。

【０２８５】

Fx = Fxmin　　…式１９

【０２８６】

それ以外、すなわち、Fxtmpが、床反力水平成分許容範囲[Fxmin, Fxmax]内に存するならば、Ｓ５１４に進み、次式によりＦxが決定される。

【０２８７】

Fx = Fxtmp　　…式２０

【０２８８】

いずれの場合においても、次いでＳ５１６に進み、次式により上体水平加速度α、上体姿勢角加速度βが決定される。

【０２８９】

$\alpha = \alpha tmp + (Fx - Fxtmp) / \Delta Fp$　　…式２１

【０２９０】

$\beta = (\alpha tmp - \alpha) * \Delta Mp / \Delta Mr$　　…式２２

【０２９１】

ただし、ΔＦp、ΔMpおよびΔＭｒはそれぞれ前記式０６、０７、および式０９により決定される。

【０２９２】

補足すると、より動力学演算の精度を高めようとするならば、上記のごとく上体角加速度βを求めた後、上体並進モードと上記求めた上体角加速度βの上体傾斜モードとを合成した運動が目標ＺＭＰを満足するように、上体並進モードの上体水平加速度αを、より厳密な動力学モデルを用いて解析的あるいは探索的に決定した方が良い。なお、探索的な決定法としては、擬似ヤコビアン（感度マトリックス）を求め、擬似ニュートン法などにより次候補を決定する方法や、シンプレックス法などを用いれば良い。

【０２９３】

さらに床反力水平成分Fxが床反力水平成分許容範囲[Fxmin, Fxmax]を厳密に越えないようにするために、Ｓ５１０においては、Fx = Fxmax かつ目標ＺＭＰまわりの床反力モーメントの水平成分が０になるように、Ｓ５１２においては、Fx

＝Fxmin かつ目標ＺＭＰまわりの床反力モーメントの水平成分が０になるように、上体水平加速度αと上体角加速度βとの組を探索的に求めても良い。

【０２９４】

上記のように求められるFxを図２４に示す。Fxは、Fxtmpの値を床反力水平成分許容範囲[Fxmin, Fxmax]から越えないように制限（飽和）させたものになっている。より詳しくは、上体並進モードのみによる上体水平加速度αtmpに応じたFxtmpが許容範囲[Fxmin, Fxmax]内にある場合には、FxtmpがそのままFxとなる。また、上体並進モードのみによる上体水平加速度αtmpに応じたFxtmpが許容範囲[Fxmin, Fxmax]の上限を超え、もしくは下限を下回った場合には、それぞれFxは、それぞれ強制的にFxmax、Fxminに制限される。特に走行歩容の空中期では、常に、Fxmax＝Fxmin＝０であるので、Fx＝０となる。

【０２９５】

また、上記のように求められる上体姿勢角加速度βを図２５に示す。上体並進モードによって発生するFxが許容範囲[Fxmin, Fxmax]を越えないように、上体並進モードの加速度を制限したことによって不足した床反力モーメント（より詳しくは目標ＺＭＰ回りの床反力モーメントの水平成分を０にする上で必要な慣性力モーメントから、制限した上体水平運動と両脚体２，２の運動とによるモーメント成分を差し引いたモーメント）を、上体傾斜モードで補ったことになる。なお、走行歩容の空中期では、上体並進モードによる上体水平加速度αは常に０に制限されることとなるので、上体傾斜モードによる上体姿勢角加速度βのみによって、上記不足分の床反力モーメントが補われることとなる。

【０２９６】

次に、Ｓ５１８に進み、仮に上体並進モードの上体水平加速度がα、上体傾斜モードの上体角加速度（上体傾斜角加速度）がβ、上体ヨー回転モードの上体加速度（上体ヨー角加速度）が基準ヨー角加速度d2θbzref/dt2、逆位相腕振り角加速度βaが基準逆位相腕振り角加速度d2θazref/dt2である運動をさせた場合の床反力モーメント鉛直成分Mztmpを求める。以降、d2θazref/dt2をβarefとする。

【０２９７】

具体的には、式０３ｚに、式１００１から式１００４を代入することによって得られるMzがMztmpである。

【０２９８】

d2Xb/dt2= α x　　…式１００１

【０２９９】

d2Yb/dt2= α y　　…式１００２

【０３００】

d2 θ bz/dt2= d2 θ bzref/dt2　　…式１００３

【０３０１】

d2 θ az/dt2= β aref　　…式１００４

【０３０２】

ただし、α xは、上体水平加速度αのＸ成分、α yは、上体水平加速度αのＹ成分を表す。また、Xb、Ybには時刻ｋ－１における上体水平位置を代入し、Xzmp、Yzmp、Xsup、d2Ysup/dt2、Xswg 、d2Yswg/dt2には、時刻kの値を代入するものとする。

【０３０３】

このようにして求められるMztmpの例を図４３に示す。図４３に、Mztmpが床反力モーメント鉛直成分許容範囲[Mzmin, Mzmax]を越えている部分を斜線で示す。

【０３０４】

次に、Ｓ５２０に進み、逆位相腕振り角加速度β aが次のように決定される（Ｓ５２０～Ｓ５２８）。

【０３０５】

すなわち、

Mztmp ＞ Mzmaxならば、Ｓ５２２に進み、次式によりMzが決定される。

【０３０６】

Mz = Mzmax　　…式１０１８

【０３０７】

Mztmp ＜ Mzminならば、Ｓ５２４に進み、次式によりM zが決定される。

【０３０８】

Mz = Mzmin　　…式１０１９

【０３０９】

それ以外、すなわち、Mztmpが、床反力水平成分許容範囲[Mzmin, Mzmax]内に存するならば、Ｓ５２６に進み、次式によりMzが決定される。

【０３１０】

Mz = Mztmp　　…式１０２０

【０３１１】

いずれの場合においても、次いでＳ５２８に進み、次式により逆位相腕振り角加速度βaが決定される。

【０３１２】

βa = βaref + (Mztmp－Mz) / ΔMaz　　…式１０２１

【０３１３】

ただし、ΔMazは式０９aにより決定される。

【０３１４】

以下にＳ５１８からＳ５２８までの処理を解説する。

【０３１５】

上記のように求められるMzは、逆位相腕振りを含めたロボット全体の運動による床反力モーメント鉛直成分を示している。

【０３１６】

上記処理では、このMzが床反力モーメント鉛直成分許容範囲[Mzmin, Mzmax]を越えないように逆位相腕振り角加速度βaが決定されている。具体的には、Mzは、図４４に示すように、Mztmpの値を床反力水平成分許容範囲[Mzmin, Mzmax]から越えないように制限（飽和）させたものに決定されている。より詳しくは、Mztmpが許容範囲[Mzmin, Mzmax]内にある場合には、MztmpがそのままMzとなり、Mztmpが許容範囲[Mzmin, Mzmax]の上限を越え、もしくは下限を下回った場合には、それぞれMzは、それぞれ強制的にMzmax、Mzminに制限される。特に走行歩容の空中期では、常に、Mzmax＝Mzmin＝０であるので、Mz＝０となる。

【０３１７】

Mzが床反力モーメント鉛直成分許容範囲[Mzmin, Mzmax]を越えないようにする

ために、逆位相腕振りによって発生すべきモーメント鉛直成分Mazは、(Mz－Mztmp)である。Maz(= Mz－M ztmp)を図４５に示す。

【０３１８】

逆位相腕振り角加速度βaは、Mazを逆位相腕振りの等価慣性モーメントΔMazで割ったものを基準逆位相腕振り角加速度βaref（基準逆位相腕振り角を２階微分した値）に加えることによって得られる。すなわち式１０２１で求められる。逆位相腕振り角加速度βaを図４６に示す。

【０３１９】

以上のごとくＳ５０４からＳ５２８までの処理では、逆位相腕振りを含めたロボット全体の運動によって発生する床反力モーメント鉛直成分Mzが許容範囲[Mzmin, Mzmax]を越えないように、逆位相腕振りを行わなかった場合に発生する床反力モーメント鉛直成分Mztmpが許容範囲を越えた分を打ち消す（キャンセルする）ように逆位相腕振り角加速度βaが決定される。

【０３２０】

補足すると、床反力モーメント鉛直成分Mzが床反力モーメント鉛直成分許容範囲[Mzmin, Mzmax]を厳密に越えないようにするために、Ｓ５０４からＳ５２８までの処理の代わりに、逆位相腕振り角加速度βaを、より厳密な動力学モデルを用いて解析的あるいは探索的に決定した方が良い。なお、探索的な決定法としては、擬似ヤコビアン（感度マトリックス）を求め、擬似ニュートン法などにより次候補を決定する方法や、シンプレックス法などを用いれば良い。

【０３２１】

以上が、時刻ｋが上体姿勢角・逆位相腕振り角復元期間の間にない場合の処理である。

【０３２２】

Ｓ５０２の判定結果がＮＯである場合には以下の処理が行われる。まず、Ｓ５３０に進み、ロボット１の前回瞬時歩容状態（時刻ｋ－１の歩容状態）から、上体傾斜モードの角加速度を０にして、上体並進モードの運動をロボット１にさせた場合に今回（時刻ｋ）の目標ＺＭＰを満足するために必要な上体水平加速度αが求め、これを最終的な上体水平加速度と決定する。

【０３２３】

次に、Ｓ５３２に進み、上記場合に床反力水平成分Fxを求める。

【０３２４】

次に、Ｓ５３４に進み、上体姿勢角加速度βを０に決定する。

【０３２５】

次いで最後に、Ｓ５３６に進み、逆位相腕振り角加速度βaに、基準逆位相腕振り角加速度βaref（基準逆位相腕振り角を２階微分した値）を代入する。

【０３２６】

以上が、Ｓ５０２の判定結果がＮＯである場合の処理である。すなわち、この場合には、上体姿勢角速度を０に（より正しくは、上体姿勢角速度を基準上体姿勢角速度に）、逆位相腕振り角加速度を基準逆位相腕振り角加速度に一致させる。このようにしても運動によって発生する床反力が、床反力水平成分許容範囲および床反力モーメント鉛直成分許容範囲のいずれも越えないと予想されているので、このように決定しても問題ない。

【０３２７】

Ｓ５２８またはＳ５３６の処理の後、図２１のＳ４１４に進み、Ｓ４１２で求めた上体水平加速度を逐次積分する（時刻Tsから現在時刻ｋまで累積加算する）ことにより上体水平速度が求められ、さらにその上体水平速度を逐次積分する（時刻Tsから現在時刻ｋまで累積加算する）ことにより、上体水平位置（今回値）が求められる。また、Ｓ４１２で求めた上体姿勢角加速度を逐次積分する（時刻Tsから現在時刻ｋまで累積加算する）ことにより上体姿勢角速度が求められ、さらにその上体姿勢角速度を逐次積分する（時刻Tsから現在時刻ｋまで累積加算する）ことにより、上体姿勢角（今回値）が求められる。

【０３２８】

次にＳ４１６に進み、Ｓ４１２で求めた逆位相腕振り加速度βaを逐次積分する（時刻Tsから現在時刻ｋまで累積加算する）ことにより逆位相腕振り速度が求められ、さらにこれを逐次積分する（時刻Tsから現在時刻ｋまで累積加算する）ことにより、逆位相腕振り角θaz（今回値）が求められる。

【０３２９】

以上のごとく図２０のＳ３０６の定常歩容瞬時値決定サブルーチンが実行された後、Ｓ３０８に進み、歩容生成用時刻kの値が歩容生成インターバルΔｋだけ増加される。次いでＳ３０４に戻り、Ｓ３０４に示す条件が成立している限り、Ｓ３０６とＳ３０８の処理が繰り返され、Ｓ３０４に示す条件が成立しなくなったら、すなわち終端（時刻Te＝Ts＋Tcyc）まで仮定常歩容の生成が完了したら、Ｓ３１０に進む。

【０３３０】

定常歩容では、それを繰り返したときに境界でロボット１の運動状態が不連続にならないように、初期上体姿勢角及びその角速度を決定する必要がある。

【０３３１】

そのために、Ｓ３１０では、上体姿勢角速度を、時刻Teまでに、初期値（時刻Tsでの値）に戻すための上体姿勢角加速度を発生させる床反力モーメントのＺＭＰ換算値（以降、上体姿勢復元モーメントＺＭＰ換算値と呼び、ＺＭＰrecと略す）のパターンを設定する。

【０３３２】

これについて以下に詳細に説明する。

【０３３３】

上体姿勢角・逆位相腕振り角復元期間（時刻Tmから時刻Ts2の期間および時刻Tm2からTeまでの期間）に、上体傾斜モードを用いて上体姿勢角加速度を発生させることにより、上体姿勢角速度を初期値（時刻Tsでの値）に戻すことを考える。このための上体姿勢角加速度パターンを、$\beta(k)$とする。なお、上記期間以外では、$\beta(k)=0$とする。

【０３３４】

上体傾斜モードでは、上体姿勢角加速度$\beta(k)$を発生させようとすると、床反力モーメント$\beta(k)*\Delta Mr$が発生する。この結果、その瞬間における床反力鉛直成分がFz(k)であるとすると、（目標ＺＭＰでなく）運動から算出されるＺＭＰ(k)は、次式で求められるΔＺＭＰだけずれる。

【０３３５】

$$\Delta ZMP(k) = -\beta(k)*\Delta Mr/Fz(k) \qquad \cdots式２３$$

【０３３６】

したがって、ΔＭｒのパターンとFz(ｋ)のパターンが決まっていれば（既知であれば）、ΔＺＭＰ(ｋ)のパターンを適当に設定することによって、式２３を満足する上体姿勢角加速度パターンを発生させて、上体姿勢角速度を初期値（時刻Tsでの値）、すなわち基準上体姿勢軌道の初期（時刻Ts)状態における上体姿勢角速度に戻すことができる。

【０３３７】

前記上体姿勢復元モーメントＺＭＰ換算値（ＺＭＰrec）は、そのように適切に設定されたΔＺＭＰ(ｋ)を意味する。前記式２３を用いて上体姿勢復元モーメントＺＭＰ換算値を設定する際に、ΔＭｒは厳密には変動するが、近似的に一定値としても良い。定常歩容は仮に生成されるだけであり、実際のロボットをこの歩容に追従させるわけではないので、定常歩容の動力学的精度はあまり高くなくても良いからである。

【０３３８】

図２６にＺＭＰrecの一例を示す。図２６では、ＺＭＰrecのパターンとして、時刻Tmから時刻Ts2の期間および時刻Tm2からTeまでの期間に台形パターンが形成されている。その台形部の折れ点の時刻は、時刻Tmと時刻Ts2との間の期間および時刻Tm2からTeまでの期間における目標ＺＭＰパターンの折れ点の時刻（図１８参照）に一致させてある。これは、後述するが、今回歩容の目標ＺＭＰパターンの修正が簡単になるからである。

【０３３９】

式２３のΔＺＭＰ(ｋ)にＺＭＰrec(ｋ)を代入することにより次式が得られる。

【０３４０】

$\beta(k) = -ZMPrec(k) * Fz(k)/\Delta Mr$　　…式２４

【０３４１】

したがって、この式２４で求められるβ(ｋ)は、図２７の実線で示すようになる。なお、図２７の点線で示すものは、時刻Tsから時刻Tmまでの期間および時刻Tm2からTeまでの期間の上体姿勢角加速度（図２５の実線示のもの）である。（

以降、時刻ｋでの値であることが明らかな場合には、（ｋ）を省略する場合がある。）

【０３４２】

初期（時刻Ts）上体姿勢角は、初期（時刻Ts）基準上体姿勢角に一致させる。

【０３４３】

また、初期上体姿勢角速度は、式３７ａ、３７ｂを満たすように決定する。

【０３４４】

終端上体姿勢角－初期上体姿勢角

＝床反力水平成分許容範囲を満たすように決定された上体姿勢角加速度の２階積分

＋ＺＭＰrecによって発生する上体姿勢角加速度の２階積分

＋初期上体姿勢角速度 * 定常歩容の周期

……式３７ａ

【０３４５】

終端上体姿勢角速度－初期上体姿勢角速度

＝床反力水平成分許容範囲を満たすように決定された上体姿勢角加速度の１階積分

＋ＺＭＰre cによって発生する上体姿勢角加速度の１階積分

……式３７ｂ

【０３４６】

なお、式３７ａ、３７ｂのそれぞれの右辺第１項の積分期間は、時刻TsからTmまでの期間と、Ts2からTm2までの期間とを合わせた期間であり、右辺第２項の積分期間は、時刻TmからTs2までの期間とTm2からTeまでの期間とを合わせた期間である。

【０３４７】

より具体的に説明すると定常歩容では、第１旋回歩容の支持脚座標系（次回歩容支持客座標系）から見た初期状態姿勢角及び角速度が、それぞれ、次の第１旋回歩容の支持脚座標系（次次次回歩容支持脚座標系）から見た終端上体姿勢角および角速度に一致していなければならない。そこで、本実施形態では、初期（時

刻Ts）上体姿勢角は、初期（時刻Ts）基準上体姿勢角の値に決定し、これと、これを定常歩容におけるロボット１のトータルの旋回角（鉛直軸回りの旋回角）に応じたマトリクス（回転座標変換のマトリクス）により次回歩容支持脚座標系から見た値に座標変換したものとをそれぞれ式３７ａの左辺の初期上体姿勢角、終端上体姿勢角に代入する。また、式３７ａ，３７ｂのそれぞれの右辺第１項の積分に係る上体姿勢角加速度は、前記図２２のＳ５１８で求められたものが用いられる。

【０３４８】

そして、式３７ａ，３７ｂの初期上体姿勢角速度と、式３７ａ，３７ｂの右辺第２項の積分に係るＺＭＰrec（図２６の台形状のパターン）の台形高さをと未知数として（但し、ＺＭＰrecの台形パターンの折れ点の時刻は前記のごとくあらかじめ定める。また、第１旋回歩容のＺＭＰrecの台形高さacyc1と第２旋回歩容のＺＭＰrecの台形高さacyc2を同一値とする。）、それらの未知数を含む式３７ａ，３７ｂの連立方程式を解くことにより求められる初期上体姿勢角速度を新たな初期上体姿勢角速度として決定する。この場合、式３７ｂの終端上体姿勢角速度は、未知数である初期上体姿勢角速度を、定常歩容の上記トータルの旋回角に応じたマトリクスにより次回支持脚座標系から見た値に座標変換したものである。

【０３４９】

次いでＳ３１２に進み、上体傾斜復元モーメントＺＭＰ換算値（ＺＭＰrec）パターンを基に、これによる上体水平位置・速度への影響量を求め、終端上体水平位置・速度に加算する。

【０３５０】

この処理について解説する。（詳細は、ＰＣＴ／ＪＰ０２／１３５９２を参照のこと。）

【０３５１】

時刻TsからTmの期間および時刻Ts2からTeの期間において、上記のごとく上体傾斜復元モーメントＺＭＰ換算値（ＺＭＰrec）パターンを発生するように上体姿勢角加速度βを変化させると、上体姿勢角加速度βは、次式のようになる。

【０３５２】

$$\beta = -ZMPrec * Fz / \Delta Mr \qquad \cdots式１０２５$$

【０３５３】

上体傾斜復元モーメントを発生させない場合に目標ＺＭＰを満足する上体水平加速度は、Ｓ５３２において求めたごとくαtmpであるが、上記のごとく上体姿勢角加速度βを変化させると、目標ＺＭＰを満足するために必要な上体水平加速度αは、次式のようになる。

【０３５４】

$$\alpha = \alpha tmp - (\Delta Mr / \Delta Mp) * \beta \qquad \cdots式１０２６$$

【０３５５】

式１０２５および１０２６より、

$$\alpha = \alpha tmp + ZMPrec * Fz / \Delta Mp \qquad \cdots式１０２７$$

【０３５６】

すなわち、上体傾斜復元モーメントＺＭＰ換算値（ＺＭＰrec）によって、加速度が式１０２７の右辺第２項分だけ増加する。

【０３５７】

式が線形であることを利用すると、上記のごとく上体傾斜復元モーメントＺＭＰ換算値（ＺＭＰrec）パターンを発生するように上体姿勢角加速度βを変化させた場合の終端上体水平速度は、上体傾斜復元モーメントＺＭＰ換算値（ＺＭＰrec）パターンを発生させなかった場合の終端上体水平速度、すなわちＳ４１４で求めた上体水平速度の終端値に、時刻TsからTeまでの（ＺＭＰrec＊Fz／ΔＭｐ）の１階積分を加算したものとして求められる。また、上記のごとく上体傾斜復元モーメントＺＭＰ換算値（ＺＭＰrec）パターンを発生するように上体姿勢角加速度βを変化させた場合の終端上体水平位置は、上体傾斜復元モーメントＺＭＰ換算値（ＺＭＰrec）パターンを発生させなかった場合の終端上体水平位置、すなわちＳ４１４で求めた上体水平位置の終端値に、時刻TsからTeまでの（ＺＭＰrec＊Fz／ΔＭｐ）の２階積分を加算したものとして求められる。

【０３５８】

Ｓ３１２の処理を完了した後、Ｓ３１４に進み、逆位相腕振り角速度が初期と

終端で一致するように逆位相腕振り復元角加速度（βarec）パターンを決定する。

【０３５９】

具体的には、逆位相腕振り復元角加速度パターンを図４７のように台形状に設定し、時刻TmからTs2までの期間の台形高さazcyc2と時刻Tm2からTeまでの期間の台形高さazcyc1を同一とし、時刻TsからTeまでのβarecの積分値と床反力モーメント鉛直成分Mzが許容範囲を越えないようにするための前記求めた逆位相腕振り加速度βaの積分値との和が０となるように台形高さazcyc1、azcyc2を決定する。なお、両区間の台形高さは、同一でなくても構わない。

【０３６０】

補足すると、このように決定した逆位相腕振り復元角加速度パターンによって発生する床反力モーメント鉛直成分（Mazrec）は、図４８のようになる。したがって、逆位相腕振りを含むロボットの運動によって発生する床反力モーメント鉛直成分は、最終的には、図４９に示すごとく、図４３と図４５と図４８との和、すなわち、図４４と図４８との和になる。時刻TmからTs2までの期間および時刻Tm2からTeまでの期間においては、台形状の復元モーメントが加算されるが、これらの期間は、許容範囲が十分に広い期間に設定されているので、逆位相腕振りを含むロボットの運動によって発生する床反力モーメント鉛直成分は、許容範囲を越えることはない。

【０３６１】

次にＳ３１６に進み、定常歩容の初期（時刻Ts）逆位相腕振り角および角速度を決定する。

【０３６２】

具体的には、初期逆位相腕振り角速度は、以下の式によって決定する。

【０３６３】

初期逆位相腕振り角速度

＝基準初期逆位相腕振り角速度

－（βarecが０の場合の逆位相腕振り角

＋βarecパターンの２階積分）

／ Tcyc

…式１０３０

【０３６４】

ただし、上式において、βarecが０の場合の逆位相腕振り角とは、Ｓ４１６において求めた逆位相腕振り角のことである。また、βarecの２階積分とは、図４７のように設定した逆位相腕振り復元角加速度の時刻TsからTeまでの２階積分値である。また、定常歩容の目標旋回角は、定常歩容が１歩（すなわち、第１旋回歩容と第２旋回歩容の２歩）の間に旋回すべき角度である。

【０３６５】

初期逆位相腕振り角は、基準初期逆位相腕振り角に一致させれば良い。または、最終的に決定された逆位相腕振り角加速度（すなわち、床反力モーメント鉛直成分Mzが許容範囲を越えないようにするための前記求めた逆位相腕振り加速度βaと復元角加速度βarecの和）と上記求めた初期逆位相腕振り角速度を基に、仮に初期逆位相腕振り角を基準初期逆位相腕振り角に一致させた場合の算出される腕振り角と基準逆位相腕振り角との差の平均値または前記差の最大値と最小値の平均値を求め、求めた平均値の２分の１を基準初期逆位相腕振り角から減じた値を最終的な初期逆位相腕振り角として決定しても良い。このようにすることで、算出される腕振り角と基準逆位相腕振り角との差の絶対値が大きくなり過ぎることを防止することができる。

【０３６６】

時刻Ts、Tm、Ts2およびTm2を前記のごとく設定した理由のひとつは、時刻TmからTs2までの期間と時刻Tm2からTeまでの期間とにおいて、上体姿勢角速度を基準上体姿勢軌道の初期角速度に戻すように上体姿勢角加速度βを発生させても、床反力水平成分Fxが許容範囲[Fxmin, Fxmax]を越えないようにするためである。換言すれば、時刻TmからTs2までの期間と時刻Tm2からTeまでの期間とにおいては、床反力水平成分許容範囲が十分に大きいため、目標ＺＭＰを満足しつつ、上体姿勢角速度を戻すように上体姿勢角加速度βを発生させても、床反力水平成分Ｆｘは、許容範囲を越えることがない。

【０３６７】

また時刻Ts、Tm、Ts2およびTm2を前記のごとく設定したもうひとつの理由は、時刻TmからTs2までの期間と時刻Tm2からTeまでの期間とにおいて、逆位相腕振り角速度を基準逆位相腕振り角軌道の初期角速度に戻すように逆位相腕振り角加速度βaを発生させても、床反力モーメント鉛直成分Mzが許容範囲[Mzmin, Mzmax]を越えないようにするためである。換言すれば、時刻TmからTs2までの期間と時刻Tm2からTeまでの期間とにおいては、床反力モーメント鉛直成分許容範囲が十分に大きいため、逆位相腕振り角速度を戻すように逆位相腕振り角加速度βaを発生させても、床反力モーメント鉛直成分Mzは、許容範囲を越えることがない。

【０３６８】

以上のごとく図２０のＳ３１６の処理が完了した後、図１９のＳ２１０に進み、生成した歩容（仮定常歩容）の終端上体水平位置・速度を、その瞬間の支持脚に対応する支持脚座標系（図２８のX'''，Y'''，Z'''座標系）から見た値に変換し、その値を（Ｘｅ，Ｖｘｅ）とする（Ｘｅ：終端上体水平位置、Ｖｘｅ：終端上体水平速度）。

【０３６９】

次いでＳ２１２に進み、図示の如く、初期上体水平位置速度（Ｘｓ，Ｖｘｓ）と終端上体水平位置速度（Ｘｅ，Ｖｘｅ）との差を算出する。この差（Ｘｓ－Ｘｅ，Ｖｘｓ－Ｖｘｅ）を上体水平位置速度境界条件誤差（errx, errvx）と呼ぶ。定常歩容では、前記境界条件を満たす必要があるので、（Ｘｓ，Ｖｘｓ）と（Ｘｅ，Ｖｘｅ）とが一致していなければならない。従って、上体水平位置速度境界条件誤差（errx, errvx）が零またはほぼ零でなければならない。本実施形態では、以下のように、上体水平位置速度境界条件誤差（errx, errvx）がほぼ零となる（Ｘｓ，Ｖｘｓ）が探索的に求められる。

【０３７０】

次いでＳ２１４に進み、算出した上体水平位置速度境界条件誤差（errx, errvx）が、あらかじめ適宜設定された許容範囲内にあるか否かが判断される。尚、このように上体水平位置速度境界条件誤差の許容範囲を設定する代わりに、初期発散成分（Ｘｓ＋Ｖｘｓ／ω0）と終端発散成分（Ｘｅ＋Ｖｘｅ／ω0）との差、および初期収束成分（Ｘｓ－Ｖｘｓ／ω0）と終端収束成分（Ｘｅ－Ｖｘｅ／ω0

）との差がそれぞれある許容範囲内にあるか否か判断するようにしても良い。ただしω0は、前述したように、ある所定の値である。

【０３７１】

Ｓ２１４の判断結果がＮＯであるときにはＳ２１６に進む。このＳ２１６では、（Ｘｓ，Ｖｘｓ）の付近に複数（本実施形態では２つ）の初期値候補（Ｘｓ＋ΔＸｓ，Ｖｘｓ），（Ｘｓ，Ｖｘｓ＋ΔＶｘｓ）が決定される。ここで、ΔＸｓ，ΔＶｘｓは、それぞれＸｓ，Ｖｘｓに対する所定の微小変化量を意味している。そして、これらの初期値候補のそれぞれを上体水平位置速度の初期状態として、前記Ｓ２０８と同様の処理によって定常歩容が歩容パラメータを用いて生成される。さらに、その生成された定常歩容の終端上体位置速度を、その瞬間の支持脚に対応する支持脚座標系（図２８のX'''，Y'''，Z'''座標系）から見た値に変換した値（Ｘｅ＋ΔＸｅ１，Ｖｘｅ＋ΔＶｘｅ１），（Ｘｅ＋ΔＸｅ２，Ｖｘｅ＋ΔＶｘｅ２）が求められる。ここで、（Ｘｅ＋ΔＸｅ１，Ｖｘｅ＋ΔＶｘｅ１）は（Ｘｓ＋ΔＸｓ，Ｖｘｓ）に対応する終端上体位置速度を意味し、（Ｘｅ＋ΔＸｅ２，Ｖｘｅ＋ΔＶｘｅ２）は（Ｘｓ，Ｖｘｓ＋ΔＶｘｓ）に対応する終端上体位置速度を意味している。なお、この場合の定常歩容（仮歩容）の生成処理では、上体水平位置速度以外の変数の初期状態（時刻Ｔｓでの状態）は、例えば上体水平位置速度の初期値候補を（Ｘｓ，Ｖｘｓ）とした場合と同一に設定すればよい。Ｓ２１６ではさらに、前記Ｓ２１０と同様の処理によって、各初期値候補とこれに対応する終端上体位置速度との差、すなわち、各初期値候補（Ｘｓ＋ΔＸｓ，Ｖｘｓ），（Ｘｓ，Ｖｘｓ＋ΔＶｘｓ）のそれぞれに対応する上体水平位置速度境界条件誤差が求められる。

【０３７２】

次いでＳ２１８に進み、（Ｘｓ，Ｖｘｓ）およびその付近の初期値候補（Ｘｓ＋ΔＸｓ，Ｖｘｓ），（Ｘｓ，Ｖｘｓ＋ΔＶｘｓ）のそれぞれに対する上体水平位置速度境界条件誤差を基に、（Ｘｓ，Ｖｘｓ）の次の初期値候補が探索法（擬似ヤコビアン（感度マトリックス）を求め、最急降下法などにより次候補を決定する方法や、シンプレックス法など）により決定される。すなわち、（Ｘｓ，Ｖｘｓ）およびその付近の初期値候補（Ｘｓ＋ΔＸｓ，Ｖｘｓ），（Ｘｓ，Ｖｘｓ

＋ΔＶｘｓ）のそれぞれに対する上体水平位置速度境界条件誤差によって、上体水平位置及び上体水平速度をそれぞれ初期値候補（Ｘｓ，Ｖｘｓ）から微小変化させたときの、上体水平位置速度境界条件誤差の変化度合いを示す感度マトリックスが求められ、その感度マトリックスに基づいて、上体水平位置速度境界条件誤差をより小さくするような初期値候補（Ｘｓ，Ｖｘｓ）が新たに決定される。そして、このように上体水平位置速度の新たな初期値候補（Ｘｓ，Ｖｘｓ）が決定された後、Ｓ２０６に戻る。

【０３７３】

Ｓ２１４の判断結果がＮＯとなる限りは上記した処理（Ｓ２０６～Ｓ２１８の処理）が繰り返される。なお、この場合、上体水平位置速度の新たな初期値候補（Ｘｓ，Ｖｘｓ）に対応する定常歩容の生成処理（Ｓ２０８）におけるＳ３００（図２０参照）では、上体姿勢角速度の初期値は、基準上体姿勢角速度の初期値ではなく、上体水平位置速度の前回の初期値候補（Ｘｓ，Ｖｘｓ）に対応するＳ２０８の処理におけるＳ３１０（図２０参照）で決定したものに設定される。そして、Ｓ２１４の判断結果がＹＥＳになると、繰り返しループ（Ｓ２０４）を抜けてＳ２２０に進む。なお、Ｓ２０４の繰り返しループを抜けたときの直前に生成された仮定常歩容が、境界条件を満たす定常歩容として得られることとなる。

【０３７４】

Ｓ２２０では、本来の初期時刻０（今回歩容の終端時刻）における初期上体水平位置速度（Ｘ0，Ｖ0）と初期時刻０における初期上体鉛直位置速度（Ｚ0、Ｖｚ0）と初期時刻０における初期上体姿勢角および角速度が求められる。

【０３７５】

具体的には、（Ｘ0，Ｖ0）と（Ｚ0，Ｖｚ0）は、Ｓ３１０において決定された上体傾斜復元モーメントＺＭＰ換算値パターン、時刻Tsにおける定常歩容の初期上体姿勢角および角速度と、Ｓ２０４のループを抜けた後の時刻Tsにおける上体水平位置速度(Xs,Vxs)を基に、歩容の条件を満足するように歩容を生成した場合における、第２旋回歩容から第２旋回歩容に切り換わった瞬間の時刻、すなわち、時刻ｋ＝Tcyc（時刻Te－Ts）であるときに決定される上体水平位置速度と上体鉛直位置速度とを、それぞれ時刻Tcycから始まる一歩（すなわち２度目の第１旋

回歩容）の支持脚に対応する支持脚座標系（図２８のX'''，Y'''，Z'''座標系）から見た値に変換した値に決定される。同様に、初期状態姿勢角および角速度は、時刻ｋ＝Tcyc（時刻Te－Ts）であるときに決定される上体姿勢角及び角加速度を、時刻Tcycから始まる一歩（すなわち２度目の第１旋回歩容）の支持脚に対応する支持脚座標系（図２８のX'''，Y'''，Z'''座標系）から見た値に変換した値に決定される。

【０３７６】

次いでＳ２２２に進み、定常歩容初期発散成分ｑ［０］が次式から求められる。

【０３７７】

$$q[0] = X0 + V0/\omega 0 \qquad \cdots式４０$$

【０３７８】

ただしω0は、発散についての解説で述べたように、ある所定の値である。

【０３７９】

次にＳ２２４に進み、定常歩容初期発散成分ｑ［０］が今回歩容支持脚座標系から見た値に変換され、これがｑ”［０］として求められる。また、初期上体鉛直位置速度（Ｚ０，Ｖｚ０）が今回歩容支持脚座標系から見た値に変換され、これが（Z0”，Ｖｚ０”）として求められる。

【０３８０】

補足すると、（Ｚ０”，Ｖｚ０”）は、第２旋回歩容の支持脚座標系（図１５のX”，Y”，Z”座標系）から見た第２旋回歩容終端上体鉛直位置速度に一致している。また、ｑ”［０］も第２旋回歩容の支持脚座標系（図１５のX”，Y”，Z”座標系）から見た第２旋回歩容終端発散成分に一致している。したがって、これらの性質を用いて、（Ｚ０”，Ｖｚ０”）およびｑ”［０］を算出するようにしても良い。

【０３８１】

さらに、Ｓ２２６に進み、本来の初期時刻０（今回歩容の終端時刻）における初期逆位相腕振り角および角速度（θaz0，ωaz0）を求め、さらに、これを今回歩容の支持脚座標系から見た値である（θaz0”，ωaz0”）を求める。具体的には、（

θaz0, ωaz0)は、Ｓ３１４およびＳ３１６において決定された逆位相腕振り復元角加速度パターン、定常歩容の初期（時刻Ts）逆位相腕振り角および角速度とを基に、歩容の条件を満足するように歩容を生成した場合における、（より具体的には、上体姿勢角・逆位相腕振り角復元期間以外では、床反力モーメント鉛直成分が許容範囲を越えないように、逆位相腕振り角軌道を決定し、上体姿勢角・逆位相腕振り角復元期間では、前記基準逆位相腕振り角加速度βarefと逆位相腕振り復元角加速度βarecの和が発生するように逆位相腕振り角軌道を決定した場合における）第２旋回歩容から第２旋回歩容に切り換わった瞬間の時刻、すなわち、時刻ｋ＝Tcyc（時刻Te－Ts）であるときに決定される逆位相腕振り角および角速度を、時刻Tcycから始まる一歩（すなわち２度目の第１旋回歩容）の支持脚に対応する支持脚座標系（図２８のX'''，Y'''，Z'''座標系）から見た値に変換した値に決定される。

【０３８２】

以上により、図１２のＳ０２４の処理、すなわち定常歩容の初期状態を求めるサブルーチン処理が終了する。

【０３８３】

次いで、図１２のＳ０２６に進み、今回歩容の歩容パラメータを決定（一部は仮決定）する。Ｓ０２６では、より具体的には、図２９に示すフローチャートに従って、以下の処理が行われる。

【０３８４】

まず、Ｓ６００において、今回歩容の足平位置姿勢軌道が定常歩容の足平位置姿勢軌道につながるように、今回歩容の足平軌道パラメータが設定される。

【０３８５】

具体的には、今回歩容初期遊脚足平位置姿勢（今回歩容遊脚足平位置姿勢の初期値）は、今回歩容支持脚座標系から見た現在遊脚位置姿勢（前回歩容終端遊脚位置姿勢）に設定される。今回歩容初期支持脚足平位置姿勢（今回歩容支持脚足平位置姿勢の初期値）は、今回歩容支持脚座標系から見た現在支持脚足平位置姿勢（前回歩容終端支持脚足平位置姿勢）に設定される。また、今回歩容終端遊脚足平位置姿勢は、今回歩容支持脚座標系から見た次回歩容支持脚座標系（今回歩

容に係わる１歩目の遊脚着床位置姿勢の要求値）に対応して決定される。すなわち、今回歩容終端遊脚足平位置姿勢から遊脚足平２２を床に接触させたまま、すべらないように該足平２２をその底面のほぼ全面が接地するまで回転させたときの、該足平２２の代表点が今回歩容支持脚座標系から見た次回歩容支持脚座標系の原点に合致するように今回歩容終端遊脚足平位置姿勢が決定される。

【０３８６】

今回歩容終端では、支持脚足平２２は離床して空中にある。支持脚足平２２が離床してから後の軌道を決定するために、支持脚足平着地予定位置姿勢を設定する。支持脚足平着地予定位置姿勢は、今回歩容支持脚座標から見た次次回歩容支持脚座標（今回歩容に係わる２歩目の遊脚足平位置姿勢の要求値）に対応して設定される。より具体的には、支持脚足平着地予定位置姿勢は、その位置姿勢から、足平２２を床に接触させたまま、すべらないように該足平２２をその底面のほぼ全面が床に接地するまで回転させたときの該足平２２の代表点が今回歩容支持脚座標から見た次次回歩容支持脚座標の原点に合致するように設定される。

【０３８７】

今回歩容終端支持脚足平位置姿勢は、現在支持脚位置姿勢（今回歩容初期支持脚足平位置姿勢）から、次回歩容支持脚座標系に対応する足平着地予定位置姿勢（前記要求パラメータにおける２歩目の遊脚側足平着地位置姿勢の要求値）に至る足平位置姿勢軌道を、今回歩容終端まで前記有限時間整定フィルタにより生成することにより求められる。

【０３８８】

次いで、Ｓ６０２に進み、今回歩容の基準上体姿勢軌道パラメータが、定常歩容の第１旋回歩容や第２旋回歩容と同様に決定される。ただし、今回歩容の基準上体姿勢軌道が前記定常歩容の基準上体姿勢軌道に連続してつながる（今回歩容終端での基準上体姿勢角及び角速度がそれぞれ定常歩容初期の基準上体姿勢角及び角速度に一致する）ように上記パラメータが設定される。なお、本実施形態では、基準上体姿勢は、今回歩容及び定常歩容のいずれでも定常的な鉛直姿勢である。

【０３８９】

次いで、Ｓ６０４に進み、今回歩容の基準腕姿勢軌道パラメータが、定常歩容の第１旋回歩容や第２旋回歩容と同様に決定される。ただし、今回歩容の初期基準腕姿勢およびその変化率が基準腕姿勢および変化率の現在瞬間値に一致し、かつ、今回歩容の腕姿勢軌道が前記定常歩容の腕姿勢軌道に連続してつながるように上記パラメータを設定する。なお、ここで決定される腕姿勢軌道パラメータは、定常歩容パラメータの決定（図１４のＳ１０４）の場合と同様、たとえば、両腕全体の全体重心位置、左右の手先の左右方向の間隔および逆位相腕振り角に関するパラメータが決定される。尚、本実施形態では、両腕全体の相対重心位置は、上体に対して一定に維持されるように設定される。

【０３９０】

次いで、Ｓ６０６に進み、今回歩容の床反力鉛直成分軌道パラメータが、定常歩容の第１旋回歩容や第２旋回歩容と同様、該パラメータにより規定される床反力鉛直成分軌道が前記図３のように実質的に連続な（値がステップ状に飛ばない）軌道になるように設定される。

【０３９１】

ただし、床反力鉛直成分軌道パラメータは、今回歩容の全体重心鉛直位置速度と床反力鉛直成分軌道とのいずれもが、前記定常歩容と連続してつながるように決定される。

【０３９２】

具体的には、まず、前記図１２のＳ０２４の処理（定常歩容初期状態の決定処理）で最終的に求めた定常歩容の初期上体鉛直位置速度を今回歩容支持脚座標系から見た値に変換した値（Z0”，Ｖｚ０”）、すなわち、図１９のＳ２２４で求めた（Z0”，Ｖｚ０”）等を基に、例えば前記式０４（あるいはロボット１のキネマティクスモデル）を用いて、今回歩容支持脚座標系から見た定常歩容の初期全体重心鉛直位置速度が求められる。具体的には、今回歩容支持脚座標系から見た定常歩容の初期全体重心鉛直位置は、Ｓ２２４で求めた定常歩容の上体鉛直位置Z0”に対応する図１０のモデルの上体質点鉛直位置と、定常歩容初期の各足平位置を今回歩容支持脚座標系から見た値に変換したものに対応する支持脚側及び遊脚側の脚体質点鉛直位置とを式０４に代入することで求められる。また、

今回歩容支持脚座標系から見た定常歩容の初期全体重心鉛直速度は、Ｓ２２４で求めた定常歩容の上体鉛直速度Vz0”に対応する図１０のモデルの上体質点鉛直速度と、定常歩容初期の各足平鉛直速度を今回歩容支持脚座標系から見た値に変換したものに対応する支持脚側及び遊脚側の脚体質点鉛直速度とを式０４の両辺を微分してなる式に代入することにより求められる。なお、この初期全体重心鉛直位置速度の算出は、より厳密なモデルを用いて行なうようにしてもよい。

【０３９３】

そして、このようにして求めた定常歩容の初期全体重心鉛直位置速度を、前記式１３と下記式４１の終端全体重心鉛直位置速度に代入すると共に、前回の目標歩容瞬時値（より厳密には、前回目標歩容の終端状態を今回支持脚座標系に変換したもの）の全体重心鉛直位置および速度を、前記式１３と下記式４１の初期全体重心鉛直位置および速度に代入し、式１３と式４１の関係を満足するように、今回歩容の床反力鉛直成分パターン（より具体的にはパラメータ値）が決定される。ただし、式１３と式４１における積分値は今回歩容の初期から終端までの期間の積分値とする。

【０３９４】

終端全体重心鉛直速度－初期全体重心鉛直速度

＝（床反力鉛直成分/ロボットの質量）の１階積分

＋ 重力加速度の１階積分

…式４１

【０３９５】

ただし、重力加速度は負の値とする。

【０３９６】

より具体的には、まず、図３のような床反力鉛直成分パターンを規定する床反力鉛直成分パラメータ（折れ点の時刻等）のうちの、少なくとも２つのパラメータを独立な未知変数として、その未知変数の値を、式１３と式４１とからなる連立方程式を解いて決定する。

【０３９７】

未知変数とする床反力鉛直成分パラメータには、例えば、図３の台形の高さ（

床反力鉛直成分のピーク値）と幅（片脚支持期時間）とを選択すれば良い。この場合、図３の台形の両側部分の傾きは今回歩容周期等に応じてあらかじめ定めた値とし、あるいは、片脚支持期から空中期に移行する時刻を除く床反力鉛直成分パターンの折れ点の時刻を今回歩容周期等に応じてあらかじめ定めた値とする。補足すると、未知変数を１つとすると、一般的には式１３と式４１の連立方程式を満足する解が存在しない。

【０３９８】

次いで、Ｓ６０８に進み、床反力水平成分許容範囲[Fxmin, Fxmax]（具体的には該床反力水平成分許容範囲のパターンを規定するパラメータ）が、定常歩容の第１旋回歩容や第２旋回歩容と同様に設定される。たとえば図３０に示すようなパターンで床反力水平成分許容範囲が設定される。本実施形態では、先にＳ６０６で決定した床反力鉛直成分パターンに応じて前記式１２に基づいて床反力水平成分許容範囲が設定される。

【０３９９】

次いで、Ｓ６１０に進み、床反力モーメント鉛直成分許容範囲[Mzmin, Mzmax]（具体的には該床反力モーメント鉛直成分許容範囲のパターンを規定するパラメータ）が、定常歩容の第１旋回歩容や第２旋回歩容と同様に設定される。たとえば図５０に示すようなパターンで床反力水平成分許容範囲が設定される。本実施形態では、先にＳ６０６で決定した床反力鉛直成分パターンに応じて前記式１０１２に基づいて床反力モーメント鉛直成分許容範囲が設定される。

【０４００】

次いで、Ｓ６１２に進み、今回歩容のＺＭＰ軌道（具体的にはＺＭＰ軌道を規定するパラメータで、軌道の折れ点の時刻や位置）が、定常歩容の第１旋回歩容や第２旋回歩容と同様、安定余裕が高くかつ急激な変化をしないように、前記図４に示すごとく設定される。ただし、今回歩容のＺＭＰ軌道が前記定常歩容のＺＭＰ軌道に連続してつながるように上記パラメータを設定される。つまり、今回歩容終端におけるＺＭＰの位置が定常歩容初期のＺＭＰ位置に一致するように、ＺＭＰ軌道パラメータが決定される。この場合、走行歩容では、片脚支持期におけるＺＭＰ軌道の折れ点の時刻や位置の設定の仕方は、前述した定常歩容のＺＭ

Ｐ軌道パラメータの設定の仕方と同様でよい。そして、空中期における目標ＺＭＰ軌道が、空中期開始時から、定常歩容初期のＺＭＰ位置まで、直線的に連続して変化するようにＺＭＰ軌道パラメータを設定すればよい。

【０４０１】

なお、Ｓ６１２で決定される今回歩容のＺＭＰ軌道パラメータは、仮決定されただけであり、後述するように修正される。そこで、上記のごとく設定した今回歩容のＺＭＰ軌道を、以降、今回歩容の仮目標ＺＭＰ軌道と呼ぶこととする。

【０４０２】

最後に、Ｓ６１４に進み、上体姿勢角・逆位相腕振り角復元期間[Ta，Tb]が設定される。上体姿勢角・逆位相腕振り角復元開始時刻Taは、定常歩容の第２旋回歩容におけるTmに相当し、上体姿勢角・逆位相腕振り角復元修了時刻Tbは、定常歩容の第２旋回歩容におけるTs2に相当するものである。これらの時刻Ta，Tbの設定の仕方は、それぞれTmおよびTs2の設定の仕方と同様である。

【０４０３】

図１２の説明に戻って、上記のごとくＳ０２６に示す処理（今回歩容の歩容パラメータ決定処理）を行って後、次いでＳ０２８に進み、今回歩容の歩容パラメータ（ＺＭＰ軌道パラメータ）が修正され、また、逆位相腕振り角に関するパラメータが決定される。この処理では、上体位置姿勢軌道を定常歩容に連続させ、もしくは近づけるべくＺＭＰ軌道パラメータが修正され、かつ、逆位相腕振り角が定常歩容の逆位相腕振り角軌道に収束するように今回歩容の逆位相腕振り角に関するパラメータが決定される。

【０４０４】

図３１はその処理を示すサブルーチン・フロー・チャートである。

【０４０５】

まずＳ７００を経てＳ７０２に進み、仮目標ＺＭＰパターンとその他の今回歩容パラメータを基に、今回歩容終端時刻までの仮今回歩容が仮生成される。

【０４０６】

Ｓ７０２では、図３２に示すフローチャートに従って、以下の処理が行われる。

【０４０７】

以下説明すると、Ｓ８００において、諸々の初期化が行われる。具体的には、仮歩容生成用時刻kに０が代入される。また、前回目標歩容の終端状態（より具体的には、上体水平位置速度、上体鉛直位置速度、上体姿勢角及びその角速度、目標足平位置姿勢、目標腕姿勢などの歩容状態の終端値）を今回支持脚座標系に変換したものを、今回歩容初期状態とする。

【０４０８】

補足すると、目標腕姿勢は、目標逆位相腕振り角・角速度を含む。

【０４０９】

次いで、Ｓ８０２を経てＳ８０４において、仮歩容生成用時刻kが今回歩容終端時刻Tcurr以前であるか否か（k ≦ Tcurrであるか否か）が判断され、その判断結果がＹＥＳある場合には、Ｓ８０６の今回歩容瞬時値決定サブルーチンに進み、今回歩容の時刻kの瞬時値が決定される。Ｓ８０６の歩容瞬時値決定サブルーチンでは、前述のＳ３０６と同様、図２１に示すごとく仮歩容を生成する。ただし、歩容パラメータとして、定常歩容パラメータの代わりに今回歩容パラメータが用いられる。

【０４１０】

次いでＳ８０８に進み、仮歩容生成用時刻kがΔkだけ増加され、Ｓ８０４に戻る。

【０４１１】

Ｓ８０４の判断結果がＮＯである場合には、図３２に示すフローチャートの処理が完了する。

【０４１２】

以上の処理により、仮の今回歩容が初期から終端まで生成される。

【０４１３】

次いでＳ７０４に進み、上記のごとくＳ７０２で求めた今回歩容終端での上体水平位置速度（Ｘｅ，Ｖｘｅ）から、終端発散成分ｑ0[k]（k=Tcurr）が図示の式（前記式１０）を用いて求められる。

【０４１４】

次いでＳ７０６に進み、今回歩容終端発散成分ｑ0[k]と定常歩容初期発散成分ｑ”（図１９のＳ２２４で求めたもの）との差である終端発散成分誤差errqが図示の式を用いて求められる。さらに、Ｓ７０８に進んで、その求めた終端発散成分誤差errqが許容範囲内（０近傍の範囲）にあるか否か判断する。

【０４１５】

Ｓ７０８の判断結果がＮＯであるときはＳ７１０に進み、ａ＝Δａ（Δａは所定の微小量）とし、図３４の関係に従って現在の仮目標ＺＭＰパターンに台形状の修正を加えた目標ＺＭＰを基に、前記Ｓ７０２と同様に、終端までの仮今回歩容を計算する。ここで、図３４を参照して、ａは、今回歩容終端発散成分を定常歩容初期発散成分にできるだけ一致させる（今回歩容の上体水平位置姿勢軌道を定常歩容の上体水平位置姿勢軌道に近づける）ために、仮目標ＺＭＰを修正するための台形パターンの高さである。この場合、本実施形態では、仮目標ＺＭＰの修正は、支持脚足平２２の底面のほぼ全面が接地する期間（足底全面接地期間）、すなわち、床反力水平成分許容範囲が十分に広いものとなる期間において行なうようにしており、上記台形パターンの折れ点の時刻は、足底全面接地期間における仮目標ＺＭＰの折れ点の時刻に合わせて設定されている。なお、Ｓ７１０でａ＝Δａとするのは、現在の仮目標ＺＭＰ軌道を上記台形パターンによって微小量、修正したときの前記終端発散成分誤差errqの変化を観測するためである。

【０４１６】

上記のようにＳ７１０にて、ａ＝Δａとして仮目標ＺＭＰ軌道を修正したときの仮今回歩容を終端まで生成した後、さらにＳ７１２に進み、Ｓ７１０で求めた仮今回歩容終端での上体水平位置速度（Ｘｅｌ，Ｖｘｅｌ）を基に、この仮今回歩容における終端発散成分ｑｌ[k]が図示の式（前記式１０）を用いて求められる。

【０４１７】

尚、Ｓ７１０においてΔａは、本実施形態では、適宜に設定される微小量の定数としたが、以下に説明する繰り返し演算によって終端発散成分誤差errqが小さくなるにつれてΔａを減少させるように該Δａを設定するようにしても良い。ただし、定数にしておいても、数回の繰り返し演算で終端発散成分誤差errqを許容範囲内に収めることができる。

【０４１８】

次いでＳ７１４に進み、パラメータ感度ｒ（Δａに対する終端発散成分誤差の変化の割合）が図示の式から求められる。さらに、Ｓ７１６に進み、ａ＝－errq／r、すなわちＳ７０６で求めた終端発散成分誤差errqを、Ｓ７１４で求めたパラメータ感度ｒで割った値を高さａとする台形パターンの修正量を図３４の関係に従って仮目標ＺＭＰパターンに加えることにより、仮目標ＺＭＰパターンが修正される（新たな仮目標ＺＭＰパターンが決定される）。

【０４１９】

次いでＳ７０２に戻る。そして、Ｓ７０８の判断結果がＮＯである限りは、上記したＳ７０２～Ｓ７１６の処理が繰り返され、Ｓ７０８の判断結果がＹＥＳになったときには、その繰り返しループ（Ｓ７００）を抜けてＳ７１８に進む。

【０４２０】

Ｓ７１８では、仮今回歩容の終端上体姿勢角と定常歩容の初期上体姿勢角との差、および仮今回歩容の終端上体姿勢角速度と定常歩容の初期上体姿勢角速度との差などを基に、今回歩容の上体姿勢角軌道が定常歩容の上体姿勢角軌道に近づくように、今回歩容の上体姿勢復元モーメントＺＭＰ換算値（ＺＭＰrec）のパターンが決定される。ここで決定するＺＭＰrecは、後述する今回歩容瞬時値の生成処理で、床反力水平成分許容範囲が十分に大きいものとなる期間（片脚支持期内の期間）において、上体姿勢角軌道を定常歩容につながらせる（近づける）ように上体姿勢角加速度を発生させても、今回歩容終端発散成分と定常歩容初期発散成分との一致性（Ｓ７０８の条件）を維持できるように、仮目標ＺＭＰを修正するためのものである。

【０４２１】

このＺＭＰrecは、前記定常歩容生成処理で説明したものと同様に台形状のパターンであり、具体的には次のように決定される。すなわち、図２６における第２旋回歩容の期間のＺＭＰrecの台形パターンと同様に、今回歩容のＺＭＰrecの台形パターンを設定し、台形の頂点（折れ点）の時刻は既知とする（より具体的には台形の折れ点の時刻を目標ＺＭＰの折れ点時刻に合わせる）と共に、台形高さを未知数とし、以下のようにＺＭＰrecの台形高さ（パラメータ）が求められ

る。ただし、ＺＭＰrecの台形パターンが立ち上がり始める時刻をTaとし、台形パターンから０に戻る時刻をTbとする。

【０４２２】

上記のように上体姿勢復元モーメントＺＭＰ換算値パターンの未知パラメータがひとつの場合には、今回歩容の終端において上体姿勢角と上体姿勢角速度の両方を定常歩容に連続につなげることは一般的にはできない。そこで、本実施形態では、複数歩に渡って徐々に、生成される歩容の状態が定常歩容の状態に近づけるように、未知パラメータを決定することとする。

【０４２３】

補足すると、１歩容の中でのＺＭＰrecパターンを複雑にし、未知パラメータを２つ以上にして、今回歩容の終端において上体姿勢角と上体姿勢角速度との両者を定常歩容に連続につなげても良いが、ＺＭＰrecパターンがジグザグに大きく変動し過ぎる恐れがある。

【０４２４】

以下では、算出原理を説明した後、算出手順を説明する。

【０４２５】

前述のごとくＳ７０２でＺＭＰrecパターンの台形高さを０として求めた仮今回歩容の終端上体姿勢角と定常歩容の初期上体姿勢角との差を求め、これをθ errとする。また、仮今回歩容の終端上体姿勢角速度と定常歩容の初期上体姿勢角速度との差を求め、これを$v\theta$ errとする。

【０４２６】

ここで、ＺＭＰrecパターンの台形高さをある値bcurrとして今回歩容が生成され、引き続いて、今回歩容と同様のアルゴリズムによって第１旋回歩容が生成されると想定する。ただし、第１旋回歩容の上体姿勢復元モーメントＺＭＰ換算値ＺＭＰrecパターンは、図２０のＳ３１０において求められた第１旋回歩容のＺＭＰrecパターン（高さが前記acyclである図２６の台形パターン）とある値blの和であるとする。

【０４２７】

このようにして生成された歩容をＺＭＰrec修正歩容と呼び、その終端（第１

旋回歩容の終端）上体姿勢角と角速度をそれぞれθ1、vθ1とする。

【０４２８】

Ｓ０２４における定常歩容の初期状態を求めるサブルーチンの処理が完了した時点で求められた本来の定常歩容（最終的にＳ３１０において決定された定常歩容初期上体姿勢角および角速度を初期値とし、ＺＭＰrecパターンをＳ３１０において求められたパターン（高さがacyc1である図２６の台形パターン）とした場合の定常歩容）の第１旋回歩容終端上体姿勢角と角速度をそれぞれθlorg、vθlorgとする。

【０４２９】

ここで、Δθ1、Δvθ1を次のように定義する。

【０４３０】

$$\Delta\theta 1 = \theta 1 - \theta \mathrm{lorg} \qquad \cdots式５０$$

【０４３１】

$$\Delta v\theta 1 = v\theta 1 - v\theta \mathrm{lorg} \qquad \cdots式５１$$

【０４３２】

Δθ1およびΔvθ1は、ＺＭＰrec修正歩容と本来の定常歩容を第１旋回歩容の終端まで生成した時点において、両者間における上体姿勢角の差及び角速度の差を意味する。もし、Δθ1およびΔvθが０になれば、ＺＭＰrec修正歩容に引き続いて、今回歩容と同様のアルゴリズムによって、ＺＭＰrecパターンの台形高さを前記acyc2として第２旋回歩容が生成されると、この歩容は、本来の定常歩容に一致する。

【０４３３】

したがって、Δθ1およびΔvθ1が０となる今回歩容台形高さbcurr、第１旋回歩容台形高さb1を求め、求めたbcurrを今回歩容の台形高さとして最終的に決定すれば良い。

【０４３４】

ところで、ロボット１の上体姿勢角に関する動力学モデルが図１０に示すフライホイールFHx、FHyのような線形特性を持つことから、Δθ1およびΔvθは、今

回歩容台形高さbcurr、第１旋回歩容台形高さbl、仮今回歩容の終端上体姿勢角と定常歩容の初期上体姿勢角の差θerr、仮今回歩容の終端上体姿勢角速度と定常歩容の初期上体姿勢角速度の差vθerrと以下の関係を持つ。

【０４３５】

$$\Delta\theta 1 = c11 * bcurr + c12 * bl + \theta err + el * v\theta err \quad \cdots式５２$$

【０４３６】

$$\Delta v\theta 1 = c21 * bcurr + c22 * bl + e2 * v\theta err \quad \cdots式５３$$

【０４３７】

ただし、c11、c12、c21、c22、e1、e2は、今回歩容、第１旋回歩容の歩容周期、上体姿勢復元モーメントＺＭＰ換算値ＺＭＰrecパターンのパラメータ（特に時間に関するパラメータ）などによって一義的に決定される係数である。

【０４３８】

以上の原理に基づき、算出手順として、まず、仮今回歩容と定常歩容との境界での上体姿勢角の差θerrと角速度の差Ｖθerrが求められる。

【０４３９】

次いで、式５２，５３の係数であるc11、c12、c21、c22、e1、e2が、今回歩容、第１旋回歩容の歩容周期、上体姿勢復元モーメントＺＭＰ換算値ＺＭＰrecパターンのパラメータ（特に時間に関するパラメータ）などを基に求められる。

【０４４０】

次いで式５２、式５３の右辺が０となるように今回歩容台形高さbcurr、第１旋回歩容台形高さblが決定される。すなわち、式５２、式５３の右辺を０とした連立方程式を解くことによって、bcurr、blが求められる。

【０４４１】

最後に、今回歩容の上体姿勢復元モーメントＺＭＰ換算値（ＺＭＰrec）の台形パターンの台形高さが、上記求めた今回歩容台形高さbcurrに設定される。

【０４４２】

次いでＳ７２０に進み、現在の仮目標ＺＭＰパターン（Ｓ７００の繰り返しループを抜けたときの仮目標ＺＭＰパターン）に、Ｓ７１８で上記のように求めた上体姿勢復元モーメントＺＭＰ換算値パターンを加算してなるパターンが今回歩

容の目標ＺＭＰパターンとして決定される。なお、この処理は、Ｓ７１０においてΔaの高さの台形パターンを仮目標ＺＭＰパターンに加える処理と同様である。

【０４４３】

以下に仮目標ＺＭＰパターンに上体姿勢復元モーメントＺＭＰ換算値パターンを加算した理由を述べる。

【０４４４】

Ｓ７００のループにおいて生成される仮今回歩容は、前述の如く、上体姿勢復元モーメントＺＭＰ換算値ＺＭＰrecを０（ＺＭＰrecの台形パターンの高さパラメータを０）にして生成される。このようにしてＳ７００のループで最終的に生成された仮今回歩容では、その上体位置速度は、定常歩容に連続し、もしくは近づくが、上体姿勢角は、定常歩容の上体姿勢角からずれ、場合によっては発散してしまう。

【０４４５】

Ｓ７１８で求められた上体姿勢復元モーメントＺＭＰ換算値パターンは、上体姿勢角の定常歩容に対するずれを０に近づけるための上体姿勢角加速度を発生させるものである。

【０４４６】

しかし、Ｓ７００のループで最終的に得られた仮目標ＺＭＰパターンを修正することなく、Ｓ７１８で求められた上体姿勢復元モーメントＺＭＰ換算値パターンに応じた上体姿勢角加速度を発生させると、動力学的平衡条件（ロボットの重力と慣性力の合力が目標ＺＭＰに作用するモーメントが鉛直成分を除いて０になること）を満足させるために、上体水平位置軌道を前記仮今回歩容の上体水平位置軌道からずらさざるを得なくなる。そこで、本実施例では、上体水平位置軌道をＳ７００のループで最終的に得られるものからずらさなくて済むように、ＺＭＰrecによって仮目標ＺＭＰパターンを修正することとした。

【０４４７】

前記仮今回歩容の運動に加えて、Ｓ７１８で求めた上体姿勢復元モーメントＺＭＰ換算値パターンに対応する上体姿勢角加速度を発生させると、ＺＭＰ（運動

によって発生する重力と慣性力の合力の鉛直成分を除くモーメントが０になる点）は上体姿勢復元モーメントＺＭＰ換算値だけずれる。したがって、逆に、仮目標ＺＭＰパターンに上体姿勢復元モーメントＺＭＰ換算値パターンを加算したパターンを目標ＺＭＰパターンとして、Ｓ７１８で求めた上体姿勢復元モーメントＺＭＰ換算値パターンに対応する上体傾斜モードの上体姿勢角加速度を発生させながら、目標ＺＭＰパターンを満足する今回歩容を生成すれば、前記仮今回歩容と同じ上体並進運動となる。

【０４４８】

以上が、仮目標ＺＭＰパターンに上体姿勢復元モーメントＺＭＰ換算値パターンを加算したパターンを目標ＺＭＰパターンとした理由である。

【０４４９】

次いでＳ７２２に進み、仮今回歩容の終端逆位相腕振り角と定常歩容の初期逆位相腕振り角との差および仮今回歩容の終端逆位相腕振り角速度と定常歩容の初期逆位相腕振り角速度との差を基に、今回歩容の逆位相腕振り角軌道が定常歩容の逆位相腕振り角軌道に近づくように、逆位相腕振り復元角加速度パターンが決定される。このパターンの決定方法は、Ｓ７１８で上体姿勢復元モーメントＺＭＰ換算値パターンを決定する方法と、変数名が次のように異なること以外は、ほぼ同じである。

【０４５０】

上体姿勢復元モーメントＺＭＰ換算値パターン→逆位相腕振り復元角加速度パターン

水平成分→モーメント鉛直成分

【０４５１】

以下に詳細を説明する。ここで決定する逆位相腕振り復元角加速度パターンは、後述する今回歩容瞬時値の生成処理で、床反力モーメント鉛直成分許容範囲が十分に大きいものとなる期間（片脚支持期内の期間）において、逆位相腕振り角軌道を定常歩容につながらせる（近づける）ように修正するためのものである。

【０４５２】

この逆位相腕振り復元角加速度パターンは、前記定常歩容生成処理で説明した

ものと同様に台形状のパターンであり、具体的には次のように決定される。すなわち、図４７における第２旋回歩容の期間の逆位相腕振り復元角加速度の台形パターンと同様に、今回歩容の逆位相腕振り復元角加速度の台形パターンを設定し、台形の頂点（折れ点）の時刻は既知とする（より具体的には台形の折れ点の時刻を目標ＺＭＰの折れ点時刻に合わせる）と共に、台形高さを未知数とし、以下のように逆位相腕振り復元角加速度の台形高さ（パラメータ）が求められる。ただし、逆位相腕振り復元角加速度の台形パターンが立ち上がり始める時刻をTaとし、台形パターンから０に戻る時刻をTbとする。

【０４５３】

上記のように逆位相腕振り復元角加速度パターンの未知パラメータがひとつの場合には、今回歩容の終端において逆位相腕振り角と逆位相腕振り角速度の両方を定常歩容に連続につなげることは一般的にはできない。そこで、本実施形態では、複数歩に渡って徐々に、生成される歩容の状態が定常歩容の状態に近づけるように、未知パラメータを決定することとする。

【０４５４】

補足すると、１歩容の中での逆位相腕振り復元角加速度パターンを複雑にし、未知パラメータを２つ以上にして、今回歩容の終端において逆位相腕振り角と逆位相腕振り角速度との両者を定常歩容に連続につなげても良いが、逆位相腕振り復元角加速度パターンがジグザグに大きく変動し過ぎる恐れがある。

【０４５５】

前述のごとくＳ７０２で逆位相腕振り復元角加速度パターンの台形高さを０として求めた仮今回歩容の終端逆位相腕振り角と定常歩容の初期逆位相腕振り角との差を求め、これをθazerrとする。また、仮今回歩容の終端逆位相腕振り角速度と定常歩容の初期逆位相腕振り角速度との差を求め、これを$v\theta$zerrとする。

【０４５６】

ここで、逆位相腕振り復元角加速度パターンの台形高さをある値bzcurrとして今回歩容が生成され、引き続いて、今回歩容と同様のアルゴリズムによって第１旋回歩容が生成されると想定する。ただし、第１旋回歩容の逆位相腕振り復元角加速度パターンは、図２０のＳ３１４において求められた第１旋回歩容の逆位相

腕振り復元角加速度パターン（高さが前記azcyc1である図４７の台形パターン）とある値bz1の和であるとする。

【０４５７】

このようにして生成された歩容を逆位相腕振り復元角加速度修正歩容と呼び、その終端（第１旋回歩容の終端）逆位相腕振り角と角速度をそれぞれθz1、vθz1とする。

【０４５８】

Ｓ０２４における定常歩容の初期状態を求めるサブルーチンの処理が完了した時点で求められた本来の定常歩容（最終的にＳ３１４において決定された定常歩容初期逆位相腕振り角および角速度を初期値とし、逆位相腕振り復元角加速度パターンをＳ３１４において求められたパターン（高さがazcyc1である図４７の台形パターン）とした場合の定常歩容）の第１旋回歩容終端逆位相腕振り角と角速度をそれぞれθzlorg、vθzlorgとする。

【０４５９】

ここで、Δθz1、Δvθz1を次のように定義する。

【０４６０】

$$\Delta\theta z1 = \theta z1 - \theta z\mathrm{lorg} \qquad \cdots\text{式１０５０}$$

【０４６１】

$$\Delta v\theta z1 = v\theta z1 - v\theta z\mathrm{lorg} \qquad \cdots\text{式１０５１}$$

【０４６２】

Δθz1およびΔvθz1は、逆位相腕振り復元角加速度修正歩容と本来の定常歩容を第１旋回歩容の終端まで生成した時点において、両者間における逆位相腕振り角の差及び角速度の差を意味する。もし、Δθz1およびΔvθzが０になれば、逆位相腕振り復元角加速度修正歩容に引き続いて、今回歩容と同様のアルゴリズムによって、逆位相腕振り復元角加速度パターンの台形高さを前記azcyc2として第２旋回歩容が生成されると、この歩容は、本来の定常歩容に一致する。

【０４６３】

したがって、Δθz1およびΔvθz1が０となる今回歩容台形高さbzcurr、第１旋回歩容台形高さbz1を求め、求めたbzcurrを今回歩容の台形高さとして最終的

に決定すれば良い。

【０４６４】

ところで、ロボット１の逆位相腕振り角に関する動力学モデルが図１０に示すフライホイールFHazのような線形特性を持つことから、Δθzlおよびδvθzは、今回歩容台形高さbzcurr、第１旋回歩容台形高さbzl、仮今回歩容の終端逆位相腕振り角と定常歩容の初期逆位相腕振り角の差θzerr、仮今回歩容の終端逆位相腕振り角速度と定常歩容の初期逆位相腕振り角速度の差vθzerrと以下の関係を持つ。

【０４６５】

$$\Delta\theta zl = czl1 * bzcurr + czl2 * bzl + \theta err + ezl * v\theta err$$

…式１０５２

【０４６６】

$$\Delta v\theta 1 = cz21 * bzcurr + cz22 * bzl + ez2 * v\theta err$$

…式１０５３

【０４６７】

ただし、czl1、czl2、cz21、cz22、ezl、ez2は、今回歩容、第１旋回歩容の歩容周期、逆位相腕振り復元角加速度パターンのパラメータ（特に時間に関するパラメータ）などによって一義的に決定される係数である。

【０４６８】

以上の原理に基づき、算出手順として、まず、仮今回歩容と定常歩容との境界での逆位相腕振り角の差θzerrと角速度の差vθzerrが求められる。

【０４６９】

次いで、式１０５２，１０５３の係数であるczl1、czl2、cz21、cz22、ezl、ez2が、今回歩容、第１旋回歩容の歩容周期、逆位相腕振り復元角加速度パターンのパラメータ（特に時間に関するパラメータ）などを基に求められる。

【０４７０】

次いで式１０５２、式１０５３の右辺が０となるように今回歩容台形高さbzcurr、第１旋回歩容台形高さbzlが決定される。すなわち、式１０５２、式１０５３の右辺を０とした連立方程式を解くことによって、bzcurr、bzlが求められる

。

【０４７１】

最後に、今回歩容の逆位相腕振り復元角加速度の台形パターンの台形高さが、上記求めた今回歩容台形高さbzcurrに設定される。

【０４７２】

図１２に戻って、上記のごとくＳ０２８において今回歩容パラメータを修正した後、あるいはＳ０１６の判断結果がＮＯである場合には、Ｓ０３０に進み、今回歩容瞬時値が決定される。

【０４７３】

Ｓ０３０では、そのサブルーチンである図４２の処理が実行される。

【０４７４】

図４２のＳ１４００からＳ１４１１までは、図２１のＳ４００からＳ４１１までと同一の処理が行なわれ、次に、Ｓ１４１２のサブルーチンである図３３のＳ１０００～Ｓ１０１８の処理が行なわれる。

【０４７５】

具体的には、まずＳ１０００において、目標上体ヨー角に現在時刻での基準上体ヨー角の値を代入する。また、腕姿勢逆位相腕振り角・角速度を除き、目標腕姿勢に現在時刻での基準腕姿勢の値を代入する。

【０４７６】

次いでＳ１００２に進み、現在時刻が、上体姿勢角・逆位相腕振り角復元期間（時刻Taから時刻Tbの期間）の間にあるか否かが判定される。Ｓ１００２の判定結果がＮＯであるならば、Ｓ１００４に進み、ＹＥＳであるならばＳ１００６に進む。

【０４７７】

Ｓ１００４では、上体傾斜角・逆位相腕振り角復元期間でない場合の上体水平加速度α、上体角加速度β、逆位相腕振り角加速度βa算出処理（Ｓ５０４からＳ５２８）と同様の処理を行う。

【０４７８】

Ｓ１００６に進む場合では、まず、Ｓ１００６において、仮に上体並進モード

の運動をさせた場合に今回（時刻ｋ）目標ＺＭＰを満足するために必要な上体水平加速度αtmpを求める。

【０４７９】

次いでＳ１００８に進み、現在時刻における上体傾斜復元モーメントＺＭＰ換算値パターンの瞬間値ＺＭＰrecを、Ｓ３１２において決定した上体傾斜復元モーメントＺＭＰ換算値パターンに関するパラメータを基に算出する。

【０４８０】

次いでＳ１０１０に進み、現在時刻における逆位相腕振り復元角加速度パターンの瞬間値βarecを、Ｓ３１４において決定した逆位相腕振り復元角加速度パターンに関するパラメータを基に算出する。

【０４８１】

次いでＳ１０１２に進み、図示する式によって、上体傾斜モードの上体角加速度βが決定される。

【０４８２】

次いでＳ１０１４に進み、図示する式によって、上体水平加速度αが決定される。

【０４８３】

次いでＳ１０１６に進み、Ｓ１０１０で算出した逆位相腕振り復元角加速度パターンの瞬間値βarecと基準逆位相腕振り角加速度βaref（基準逆位相腕振り角を２階微分した値）の和を目標逆位相腕振り角加速度βaに代入する。

【０４８４】

次いでＳ１０１８に進み、上体水平加速度がαの場合の床反力水平成分Fxを求める。

【０４８５】

次いでＳ１４１４に進み、上体水平加速度と上体姿勢角加速度を積分して上体水平速度と上体姿勢角速度を算出する。これをさらに積分して、上体水平位置と上体姿勢を決定する。

【０４８６】

次いでＳ１４１６に進み、逆位相腕振り加速度を積分して上体水平速度と逆位

相腕振り角速度を算出する。これをさらに積分して、逆位相腕振り角を決定する。

【０４８７】

以上のごとく、図１２のＳ０３０の処理が完了する。

【０４８８】

次いでＳ０３２に進み、歩容生成用時刻ｔをΔｔだけ増やし、Ｓ０１４に戻り、以上のごとく歩容生成を続ける。

【０４８９】

以上が、歩容生成装置１００における目標歩容生成処理である。

【０４９０】

図４を参照して本実施形態に係る装置の動作をさらに説明すると、歩容生成装置１００において、上記したように目標歩容が生成される。生成された目標歩容のうち、目標上体位置姿勢（軌道）、目標腕姿勢（軌道）が、ロボット幾何学モデル（逆キネマティクス演算部）１０２に送出される。

【０４９１】

また、目標足平位置姿勢（軌道）、目標ＺＭＰ軌道（目標全床反力中心点軌道）、および目標全床反力（軌道）（目標床反力水平成分と目標床反力鉛直成分）は、複合コンプライアンス動作決定部１０４に送られると共に、目標床反力分配器１０６にも送られる。そして、目標床反力分配器１０６で、床反力は各足平２２Ｒ，２２Ｌに分配され、目標各足平床反力中心点および目標各足平床反力が決定される。この決定された目標各足平床反力中心点および目標各足平床反力は複合コンプライアンス動作決定部１０４に送られる。

【０４９２】

複合コンプライアンス動作決定部１０４から、機構変形補償付き修正目標足平位置姿勢（軌道）がロボット幾何学モデル１０２に送られる。ロボット幾何学モデル１０２は、目標上体位置姿勢（軌道）と機構変形補償付き修正目標足平位置姿勢（軌道）を入力されると、それらを満足する脚体２，２の１２個の関節（１０Ｒ（Ｌ）など）の関節変位指令（値）を算出して変位コントローラ１０８に送る。変位コントローラ１０８は、ロボット幾何学モデル１０２で算出された関節

変位指令（値）を目標値としてロボット１の１２個の関節の変位を追従制御する。また、ロボット幾何学モデル１０２は、目標腕姿勢を満足する腕関節の変位指定（値）を算出して変位コントローラ１０８に送る。変位コントローラ１０８は、ロボット幾何学モデル１０２で算出された関節変位指令（値）を目標値としてロボット１の腕体の１２個の関節の変位を追従制御する。

【０４９３】

ロボット１に生じた床反力（詳しくは実各足床反力）は６軸力センサ３４によって検出される。その検出値は前記複合コンプライアンス動作決定部１０４に送られる。

【０４９４】

また、ロボット１に生じた姿勢偏差の内の姿勢傾斜偏差θerrx，θerry（詳しくは目標上体姿勢角に対する実姿勢角の偏差で、ロール方向（Ｘ軸回り）の姿勢角偏差がθerrxであり、ピッチ方向（Ｙ軸回り）の姿勢角偏差がθerryである）が姿勢センサ３６を介して検出され、その検出値は姿勢傾斜安定化制御演算部１１２に送られる。この姿勢傾斜安定化制御演算部１１２で、ロボット１の上体姿勢角を目標上体姿勢角に復元するための目標全床反力中心点（目標ＺＭＰ）まわり補償全床反力モーメント水平成分が算出されて複合コンプライアンス動作決定部１０４に送られる。

【０４９５】

より具体的には、本実施形態では、補償全床反力モーメント水平成分Mdmdxyは、例えばＰＤ制御則を用いて次式により決定される。

【０４９６】

補償全床反力モーメントMdmdxy＝Kθb＊実上体姿勢傾斜角偏差

＋Kωb＊実上体姿勢傾斜角速度偏差

……ｄ２５

【０４９７】

ここで、実上体姿勢傾斜角速度偏差は、実上体姿勢傾斜角偏差の時間微分値であり、目標上体姿勢傾斜角速度に対する実上体姿勢傾斜角速度の偏差を意味する。また、実上体姿勢傾斜角偏差は、より詳しくは、ロボット１の上体３のロール

方向（Ｘ軸回り）の姿勢傾斜角偏差と、ピッチ方向（Ｙ軸回り）の姿勢傾斜角偏差とからなるベクトルである。

【０４９８】

また、ロボット１に生じた姿勢偏差の内のヨー回転偏差θerrz（詳しくは目標上体姿勢角に対する実姿勢角の偏差の内のヨー方向（Ｚ軸回り）の姿勢角偏差がθerrzである）が姿勢センサ３６を介して検出され、その検出値はヨー安定化制御演算部１１３に送られる。このヨー安定化制御演算部１１３で、ロボット１の上体ヨー角およびまたは角速度を目標上体ヨー角およびまたは角速度に収束させるための目標全床反力中心点（目標ＺＭＰ）まわり補償全床反力モーメント鉛直成分が算出されて複合コンプライアンス動作決定部１０４に送られる。複合コンプライアンス動作決定部１０４は、入力値に基づいて目標床反力を修正する。具体的には、目標全床反力中心点（目標ＺＭＰ）回りに補償全床反力モーメントが作用するように目標床反力を修正する。

【０４９９】

より具体的には、本実施形態では、補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdzは、例えばＰＤ制御則を用いて次式により決定される。

【０５００】

補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdz＝Kθbz＊実上体ヨー角偏差

＋Kωbz＊実上体ヨー角速度偏差

……ｄ２６

【０５０１】

ここで、実上体ヨー角速度偏差は、実上体ヨー角偏差の時間微分値であり、目標上体ヨー角速度に対する実上体ヨー角速度の偏差を意味する。

【０５０２】

複合コンプライアンス動作決定部１０４は、入力値に基づいて目標床反力を修正する。具体的には、目標全床反力中心点（目標ＺＭＰ）回りに補償全床反力モーメント水平成分が作用するように目標床反力水平成分を修正し、さらに、目標歩容に動力学的に釣り合う目標全床反力中心点（目標ＺＭＰ）回りの目標床反力鉛直成分に補償全床反力モーメント鉛直成分を付加的に追加することによって目

標床反力モーメント鉛直成分を修正する。

【０５０３】

複合コンプライアンス動作決定部１０４は、修正された目標床反力に、センサ検出値などから算出される実ロボットの状態および床反力を一致させようと上記機構変形補償付き修正目標足平位置姿勢（軌道）を決定する。ただしすべての状態を目標に一致させることは事実上不可能であるので、これらの間にトレードオフ関係を与えて妥協的になるべく一致させる。すなわち、各目標に対する制御偏差に重みを与えて、制御偏差（あるいは制御偏差の２乗）の重み付き平均が最小になるように制御する。これにより、実際の足平位置姿勢と全床反力とが目標足平位置姿勢と目標全床反力とに概ね従うように制御される。

【０５０４】

尚、この発明の要旨は歩容生成装置１００におけるロボット１の歩容生成にあり、上記した複合コンプライアンス動作決定部１０４などの構成および動作は、本出願人が先に出願した特開平１１－３００６６１号公報などに詳細に記載されているので、説明を以上に留める。

【０５０５】

Ｓ０２８において、今回歩容は、前述のごとく、今回歩容の終端発散成分が、定常旋回初期発散成分ｑ［０］を今回歩容の支持脚座標系から見た値であるｑ”に一致するように修正される。

【０５０６】

実は、発散成分とは、動力学モデルを用いて今回歩容パラメータに従って歩容を生成し、そのまま連続して定常旋回歩容パラメータに従って歩容を繰り返し生成したとき、生成した歩容の上体水平位置が定常旋回歩容に収束するか否かを評価する指標である。収束する場合にちょうど、今回歩容の終端発散成分が、定常旋回初期発散成分ｑ［０］を今回歩容の支持脚座標系から見た値であるｑ”に一致するように、本来、発散成分は定義されなければならない。

【０５０７】

式１０で定義した発散成分は、実は、上記の性質を近似的に満足する発散成分である。

【０５０８】

したがって、本実施形態においては、動力学モデルを用いて今回歩容パラメータに従って歩容を生成し、そのまま連続して定常旋回歩容パラメータに従って歩容を繰り返し生成したとき、生成した歩容の上体水平位置が定常旋回歩容の上体水平位置に収束する（近づく）ように、今回歩容パラメータを修正した、と言える。

【０５０９】

これは、特願２０００－３５２０１１号のものと同様である。

【０５１０】

特に、本実施形態においては、その条件（今回歩容が定常歩容に近づく）を満足するように、今回歩容の歩容パラメータの中の目標ＺＭＰパターンを修正するようにした。図３５を参照して説明すると、同図に符合Ｂで示す軌道は、上記したように歩容の境界において発散成分が一致するように生成した上体水平位置軌道を示す。

【０５１１】

同図に符合Ａで示す軌道は、定常旋回歩容との境界における上体水平位置速度が一致するように今回歩容を生成し、続いて定常歩容を繰り返し生成した場合の上体水平位置軌道を示す。

【０５１２】

図示の如く、符合Ｂで示す軌道は、今回歩容と最初の定常旋回歩容との境界においては、一般的に符合Ａで示す軌道からずれているが、その後、徐々に符合Ａで示す軌道に収束し（近づき）、次の定常旋回歩容時期において符合Ａで示す軌道にほぼ一致する。このように、歩容境界で発散成分のみを一致させる歩容生成手法でも、歩容境界で位置速度両方を一致させる歩容生成手法と同様、歩容の発散を防止することができる。尚、同図に符合Ｃで示す例は、それらを考慮せずに軌道を生成した場合を示す。このような場合は、生成した軌道は経時的に発散してしまう。当然、目標ＺＭＰパターンを複雑なものにし、複数のパラメータを調整して、位置速度両方を一致させても良いが、目標ＺＭＰパターンがジグザグになる恐れがある。なお、位置速度両方を一致させれば、発散成分も一致するから

、位置速度両方を一致させる方法も発散成分を一致させる方法の特殊例であると言える。

【０５１３】

またさらに、本実施形態においては、動力学モデルを用いて今回歩容パラメータに従って歩容を生成し、そのまま連続して定常旋回歩容パラメータに従って歩容を繰り返し生成したとき、生成した歩容の上体姿勢角が定常旋回歩容の上体姿勢角に収束し（近づき）、もしくは一致するように、今回歩容パラメータを修正した、と言える。

【０５１４】

本実施形態では、理解を容易にするために、床反力水平成分許容範囲は、前後方向（X軸方向）成分と左右方向（Y軸方向）成分それぞれ独立に設定できることとしたが、前後方向と左右方向の関係式で表した方が、よりスリップし難い歩容が生成される。

【０５１５】

例えば、次式のようにいわゆる摩擦円を許容範囲としても良い。

【０５１６】

（床反力水平成分のX成分）＊（床反力水平成分のX成分）
＋（床反力水平成分のY成分）＊（床反力水平成分のY成分）
≦（ka＊μ＊Fz)＊(ka＊μ＊Fz)

…式５９

【０５１７】

ただし、Fzは、目標床反力鉛直成分をμは摩擦係数、kaは１以下の正の定数を表す。

【０５１８】

ただし、以上のように、床反力水平成分許容範囲を前後方向と左右方向の関係式で表す場合、許容範囲を同時にあるいは交互に満足するように、サジタルプレーン上での運動とラテラルプレーン上での運動を同時あるいは交互に求める必要がある。

【０５１９】

また、床反力水平成分許容範囲と床反力モーメント鉛直成分許容範囲を上記のごとく別々に設定する代わりに、床反力水平成分と床反力モーメント鉛直成分の組の許容範囲を設定するようにしても良い。床反力水平成分が大きくなるにつれ、床反力モーメント鉛直成分の摩擦限界は、小さくなる。また、床反力モーメント鉛直成分が大きくなるにつれ、床反力水平成分の摩擦限界は、小さくなる。したがって、このことを鑑みて床反力水平成分と床反力モーメント鉛直成分の組の許容範囲を設定するようにした方が、より現実の摩擦限界特性に近い許容範囲を設定することができる。具体的には、床反力水平成分の絶対値と床反力モーメント鉛直成分の絶対値の重み付き平均に対して許容範囲を設定しても良い。

【０５２０】

尚、ロボットの全体重心鉛直加速度と重力加速度との和は床反力鉛直成分に比例するので、歩容パラメータとして、床反力鉛直成分軌道の代わりにロボットの全体重心鉛直加速度軌道を規定するパラメータを明示的に設定しても構わない。本質的に同じことである。また、ロボットの全体重心軌道に近い挙動をする部位の鉛直加速度軌道を規定するパラメータを明示的に設定しても構わない。例えば、脚体の質量が上体の質量に比べて十分に小さい場合には、上体鉛直加速度軌道とロボットの全体重心鉛直加速度軌道は、ほぼ同じか比例関係になるので、床反力鉛直成分軌道の代わりに上体鉛直加速度軌道を用いても良い。同様に、床反力水平成分とロボットの全体重心水平加速度は、比例関係にあるので、本実施例における床反力水平成分およびその許容範囲の代わりに、ロボット全体重心水平加速度およびその許容範囲を用いても構わない。また、ロボットの全体重心水平軌道に近い挙動をする部位の水平加速度軌道に関するパラメータを明示的に設定しても構わない。例えば、脚体の質量が上体の質量に比べ十分に小さい場合には、上体水平加速度軌道とロボットの全体重心水平加速度軌道は、ほぼ同じか比例関係にあるので、床反力水平成分およびその許容範囲の代わりに上体水平加速度およびその許容範囲を用いても良い。

【０５２１】

また、目標ＺＭＰまわりの床反力モーメントと、目標ＺＭＰまわりのロボット全体角運動量変化率鉛直成分は、比例関係にあるので、本実施例における床反力

モーメント鉛直成分およびその許容範囲の代わりに、ロボット全体角運動量変化率鉛直成分およびその許容範囲を用いても構わない。

【０５２２】

前記実施形態では、床反力水平成分と目標ＺＭＰまわりの床反力モーメントを適切な値にするために、上体傾斜モードと上体並進モードとの２つの運動モードを用いたが、これら以外の運動モードを用いても良い。

【０５２３】

例えば、図３６のように、股関節を中心に上体姿勢を回転させると、全体重心まわりの角運動量が変化すると共に全体重心も変化する。この運動と前記上体並進モードをある所定の割合で重ね合わせると（合成すると）、前記上体傾斜モードとほとんど同じ運動になり、床反力水平成分が発生しなくなる。したがって、これを改めて前記上体傾斜モードとみなせば、本実施例のアルゴリズムにしたがって、同様の歩容を生成することができる。

【０５２４】

したがって、運動モードのひとつが床反力水平成分を発生しない運動モードである必要もない。いかなるモードの組み合わせであっても、床反力水平成分と目標ＺＭＰまわりの床反力モーメントの発生の割合が異なるふたつの運動モードを用いさえすれば、上記例のように、任意の床反力水平成分と目標ＺＭＰまわりの床反力モーメントを発生させることができるからである。

【０５２５】

また、上体姿勢を変化させる運動モード以外の運動モードを用いても良い。ただし、なるべく小さい変位で大きな床反力水平成分または目標ＺＭＰまわりの床反力モーメントが発生できる運動モードを選ぶことが好ましい。

【０５２６】

例えば、左右の腕の先端位置を同一方向に振りまわす運動モード、接地していない（空中に存在する）足平の位置を摂動させる運動モードでも良い。ただし、遊脚軌道を摂動させる場合には、着地位置が変わらないように着地直前までには、摂動量を実質的に０に戻すべきである。

【０５２７】

また、３つ以上の運動モードを用いても良い。

【０５２８】

また、選択した運動モードのうちの少なくとも２つは、その運動モードによる床反力水平成分と目標ＺＭＰまわりの床反力モーメントとの発生比率が、互いに異なるものである必要がある。そうでないと、一般的に連立方程式の解がなくなる（各運動モードの挙動を一義的に決定できない）からである。

【０５２９】

さらにできる限り、床反力水平成分をあまり変化させないで目標ＺＭＰまわりの床反力モーメントを十分に大きく変化させることができる運動モードと、目標ＺＭＰまわりの床反力モーメントをあまり変化させないで床反力水平成分を十分に大きく変化させることができる運動モードとを組み合わせることが望ましい。

【０５３０】

言いかえると、全体重心をあまり変化させないで角運動量を十分に大きく変化させることができる運動モードと、角運動量をあまり変化させないで全体重心を十分に大きく変化させることができる運動モードとを組み合わせることが望ましい。このようにすると、運動モードの変位が小さくなるからである。

【０５３１】

また、床反力モーメント鉛直成分が許容範囲を越えないようにするために、（スピン力をキャンセルするために、）逆位相腕振りモードの代わりに、上体ヨー回転モードを用いても良い。また、床反力モーメント鉛直成分が発生するものであれば、腕、上体以外の部位を変位させる運動モードを用いても良い。

例えば、空中期において、両脚先端を前後逆方向に動かすモードを用いても良い。

【０５３２】

あるいは、床反力モーメント鉛直成分が発生するいくつかの運動モードを併用しても良い。例えば、逆位相腕振りモードと上体ヨー回転モードを併用しても良い。

【０５３３】

また、上体ヨー回転モードおよび逆位相腕振りモードは、全体重心位置が変わ

らないように（言い換えると床反力水平成分を発生させずに）床反力モーメント鉛直成分を発生させるモードであるが、全体重心位置が変わってしまう（言い換えると床反力水平成分を発生してしまう）運動でも良い。上体並進モードと組み合わせることにより、床反力水平成分を調整することができるからである。

【０５３４】

前記実施形態に用いた動力学モデル以外にも以下のモデルを用いても良い。

１）図１１に示したように複数のリンクに質点を設定した非線形なモデル（多質点モデル）

２）本願出願人による特願２０００－３５２０１１号に示された３質点モデル

３）上体ヨー回転モードあるいは逆位相腕振りモードによって生じる慣性力のモーメントを無視したモデル

４）重力と慣性力との合力（またはこれと釣り合う床反力）と上体並進運動との関係を表す部分モデルと、上記合力と上体姿勢回転運動（上体傾斜運動と上体ヨー回転運動）の関係を表す部分モデルとを分離して持つ分離型モデル。例えば、図１０に示す質点は、上記合力と上体並進運動との関係を表す部分モデルであり、図１０に示すフライホイールは、上記合力と上体姿勢回転運動との関係を表す部分モデルである。

【０５３５】

また、各処理で用いられるモデルは同一でも良いし、処理に応じて適宜、モデルを使い分けても良い。例えば、前記定常歩容は今回歩容の終端状態を決定するためだけに生成されるものであるので、その定常歩容の動力学的な精度に対する要求は、今回歩容に比べて小さい。そこで、例えば、今回歩容の生成処理では、図１０の動力学モデル（３質点＋フライホイールのモデル）を用いる一方、定常歩容の生成処理（特に図２１のＳ４０８、Ｓ４１２）では、各脚体２の質量を無視し、上体３に対応する上体質点３ｍと、フライホールFHとで構成される動力学モデル（図１０のモデルで脚質点２ｍ，２ｍを除去した１質点＋フライホイールのモデル）を用いて定常歩容を生成するようにしてもよい。この場合の定常歩容の生成処理では、前記実施形態において、脚質点２ｍの質量を０として前記図２１のＳ４０８、Ｓ４１２の処理を行なうようにすればよい。このようにすると、

定常歩容の生成処理における演算量を大幅に削減できる。

【０５３６】

尚、前記実施形態において、ブロック線図、フローチャート、およびアルゴリズムなどは、演算処理順序を変えるなどの等価変形をしても良い。また、適宜ローパスフィルタを挿入しても良い。

【０５３７】

また、前記実施形態を２足移動ロボットに関して説明してきたが、３足以上の多脚ロボットにも応用することができる。

【０５３８】

前記実施形態のごとく、探索手法をもちいたり部分的に解析手法を用いたりして、定常歩容の初期状態（主に初期上体水平位置速度、初期上体鉛直位置速度および逆位相腕振り角・角速度のこと）を決定する手法の代わりに、あらかじめ、上記手法を用いて様々な定常歩容パラメータに対して計算しておき、定常歩容パラメータと定常歩容の初期状態との関係をマップ化あるいは近似式化して記憶して置き、実移動時には、マップ化あるいは近似式化された上記関係を基に、定常歩容の初期値を決定しても良い。

【０５３９】

さらには、マップ化あるいは近似式化された上記関係と上記関数ｆを合成した関数をマップ化あるいは近似式化して記憶しても良い。すなわち、前記した足平軌道パラメータ、床反力鉛直軌道パラメータ等からなる定常歩容パラメータから、定常歩容の発散成分を直接求める関数をマップ化あるいは近似式化して記憶しても良い。例えば、複数種類の代表的な定常歩容パラメータの組のそれぞれに対して、事前に定常歩容を生成しておき、各組の定常歩容パラメータに対する定常歩容の初期状態（図１２のＳ０２４で求めるもの）を求めておき、さらにその各組の定常歩容パラメータと、定常歩容初期状態との関係を表すマップをあらかじめ作成しておく。そして、目標歩容を生成する際に、決定された定常歩容パラメータの組から、上記マップに基づいて選択あるいは補間によって定常歩容初期状態を求めるようにすればよい。このようにすれば、今回歩容の生成毎に、定常歩容を生成する必要がなくなり、目標歩容生成処理の演算量を大幅に削減できる。

【０５４０】

定常歩容につなげる（近づける）ための今回歩容の修正方法として、本実施形態では、今回歩容の目標ＺＭＰパラメータを修正したが、それ以外のパラメータを修正しても良い。

【０５４１】

たとえば、今回歩容の遊脚の空中での軌道を変えても良い。また、たとえば、上体水平位置が定常歩容よりも後方にずれてしまいそうな場合には、遊脚を離床後すばやく前方に移動させて遊脚重心位置を前方にずらす。こうすることにより、目標ＺＭＰを満足するための上体水平位置は、前方により一層加速せざるを得なくなる。この結果、上体水平位置が今回歩容終端において、より一層前方に移動し、定常歩容に一致させることができる。

【０５４２】

また、目標ＺＭＰパラメータを修正する代わりに、今回歩容の周期を修正しても良い。たとえば、上体水平位置が定常歩容よりも後方にずれてしまいそうな場合には、今回歩容の周期を長くすれば良い。今回歩容の周期を長くことで、上体水平位置が移動する時間が延び、それだけ前方に移動できるからである。

【０５４３】

ただし、探索手法によって、上体水平位置等の適正値を決定するときに、目標ＺＭＰパラメータを修正する場合では、目標ＺＭＰの修正量にほぼ比例して、今回歩容終端上体水平位置が変化するので、上記適正値の探索回数が少なくて済む。これに対して、遊脚重心軌道や歩容の周期を修正する場合には、その修正に対して、今回歩容終端上体水平位置が、かなり非線形に変化するので、上記適正値の探索により多くの探索回数を要する。

【０５４４】

定常歩容につなげる（近づける）ための今回歩容の修正方法として、本実施形態では、今回歩容の目標ＺＭＰパラメータを修正した。この方法では、場合によっては、目標ＺＭＰパラメータの修正量（前記図３４の修正量a）が過大になることがある。たとえば、その場でホッピングしている歩容からいきなり高速で移動する要求（走行要求）が与えられると、高速の定常歩容（走行の定常歩容）に

つなげる（近づける）ために、目標ＺＭＰパラメータは、進行方向に対して後ろに極端に大きくずらす必要が生じる。この場合には、上記したように目標ＺＭＰパラメータ以外の歩容パラメータも修正することが望ましい。但し、この場合では、実は、急激な加速を要求すること自体に無理があったわけであるから、要求値自身を修正しても良い。

【０５４５】

要求値の修正を行なう場合には、例えば、とりあえず本実施形態に示した手順に従って、要求（要求パラメータ）を満足する定常歩容を求め、この定常歩容につながるように今回歩容パラメータを決定した時点で、今回歩容の目標ＺＭＰ軌道の安定余裕が少なくなり過ぎたか否かを判定する。そして、安定余裕が少なくなり過ぎた場合（いわゆる支持多角形から目標ＺＭＰが外れたり、支持多角形の端部付近に目標ＺＭＰが位置するような場合）には、要求を修正するようにすれば良い。

【０５４６】

または、あらかじめ歩容の加減速度（次回歩容初期速度－今回歩容初期速度）／今回歩容の周期）の許容範囲を設定して置き、要求（歩容周期に関する要求パラメータ）を受けた時点で、該要求に対応する加減速度を求め、その求めた加減速度が許容範囲を越えていたら、許容範囲になるように、要求を修正しても良い。

【０５４７】

補足すると、前記ΔＭｐ、ΔＦｐ、ΔＭｒ、ΔＦｒ、ΔＭａｚおよびΔＭｂｚは、上記のごとく単純な動力学モデルを用いる場合には、動力学演算により解析的に求めても良いが、一般的なより複雑な動力学モデルを用いる場合には、上体を上体並進モードで微小量だけ加速または上体傾斜モードで微小量だけ加速させた場合の床反力を求め、加速させなかった場合の床反力との差を求め、この差を上記微小量で割ることによって求めれば良い。

【０５４８】

また、あらかじめ標準的な歩容におけるΔＭｐ、ΔＦｐ、ΔＭｒ、ΔＦｒ、ΔＭａｚ、ΔＭｂｚおよびΔＭｐ／ΔＭｒなどのそれぞれの平均値を求めておいて、それを用い

ても良い。ΔMp、ΔFp、ΔMr、ΔFr、ΔMaz、ΔMbzおよびΔMp /ΔMrは、状態（姿勢とその変化率）によって変わるので、各瞬間の状態ごとに求める方法に較べて、精度は若干低下するが、上記モデルよりも複雑なモデルを用いた場合には、演算量を大幅に低減できる。

【０５４９】

今回歩容の逆位相腕振り復元角加速度パターンの台形高さbzcurrを決定する方法として、以下の方法を用いても良い。

【０５５０】

前記逆位相腕振り復元角加速度修正歩容（図３１のＳ７２２の説明を参照）の今回歩容終端時点での逆位相腕振り角と角速度をそれぞれθzcurr、vθzcurrとし、これらと、定常歩容の逆位相腕振り角、角速度との差をΔθzcerr、Δvθzcerrとする。

【０５５１】

歩容周期をインターバルとし、仮今回歩容の終端逆位相腕振り角、角速度と定常歩容の初期逆位相腕振り角、角速度との差θzerr、vθzerrを前回状態、bzcurrを入力、Δθzcerr、Δvθzcerrを今回状態とする離散系の状態方程式を立てて、Δθzcerr、Δvθzcerrを０に収束させるように、現代制御理論等を用いてフィードバック則を決定し、これに基づいてbzcurrを求めても良い。

【０５５２】

今回歩容およびまたは定常歩容の逆位相腕振り復元角加速度βarecは、台形パターンとせず、各瞬間において、目標逆位相腕振り角・角速度と基準逆位相腕振り角・角速度との差などを基に、その差が０に収束するように、状態フィードバックなど則を用いて、各瞬間における逆位相腕振り復元角加速度βarecの値を決定しても良い。

【０５５３】

今回歩容の逆位相腕振り復元角加速度βarecは、台形パターンとせず、各瞬間において今回歩容の目標逆位相腕振り角・角速度を基に、これらが第１旋回歩容の初期逆位相腕振り角・角速度に近づくように、状態フィードバック則などを用いて、各瞬間における逆位相腕振り復元角加速度βarecを決定しても良い。

【０５５４】

斜面移動時（傾斜した床面でロボット１を移動させるとき）の歩容生成においては、床反力水平成分許容範囲や全体重心加速度水平成分許容範囲の代わりに、並進床反力の床面平行成分（床面に平行な成分）、すなわち摩擦力の許容範囲、あるいは全体重心加速度の床面平行成分（これは摩擦力に比例する）の許容範囲を設定するようにしてもよい。例えば、並進床反力の床面平行成分（摩擦力）の許容範囲を設定する場合に関して説明（この説明は全体重心加速度の床面平行成分の許容範囲を設定する場合でも同様である）すると、該摩擦力は、床面の水平面に対する傾斜角度θｆ（ロボット１の進行方向に向かって前下がり斜面の場合を正とする）とすると、次式７２の関係が成立する。従って、前記実施形態と同様のアルゴリズムに歩容を生成する場合、この式７２の関係を用いて、摩擦力許容範囲を床反力水平成分許容範囲に変換することで、該床反力水平成分許容範囲を設定するようにすればよい。なお、この場合、式７２の床反力鉛直成分には、目標床反力鉛直成分を用いればよい。

【０５５５】

摩擦力 ＝ 床反力水平成分*cos(θｆ)－床反力鉛直成分*sin(θｆ)

…式７２

【０５５６】

また、斜面移動時（傾斜した床面でロボット１を移動させるとき）の歩容生成においては、床反力モーメント鉛直成分は、式１０７２によって床面摩擦力法線方向モーメントに変換することができるので、床反力モーメント鉛直成分許容範囲の代わりに、床反力モーメントの床面法線方向成分、すなわち床面摩擦力法線方向モーメントの許容範囲の許容範囲を設定するようにしてもよい。

【０５５７】

床面摩擦力法線方向モーメント ＝ 床反力モーメント鉛直成分*cos(θｆ)

…式１０７２

【０５５８】

今回歩容のパラメータ決定は、前記実施形態のように前回歩容が完了した時点で行う以外に、本願出願人による特願２０００－３５２０１１号に記述されてい

るように、今回歩容の生成途中で、再決定しても良い。こうすることにより、演算量は増えるが、歩容に対する要求に変更があった時に即応できるからである。

【０５５９】

また、歩容の修正（今回歩容パラメータを再決定すること）が、今回制御周期で間に合わない場合には、とりあえず今回は、修正しない歩容あるいは暫定的に修正した歩容（探索途中の歩容であって、完全には、探索完了条件（歩容境界条件のずれが許容値以内に入っていること）を満足していない歩容）を出力し、次回制御周期までに、あるいは複数制御周期後までに（暫定的でない）適切な修正歩容にしても良い。修正された目標ＺＭＰ軌道と目標床反力鉛直成分軌道は連続であり、短時間後では、これらが急激に変化することはないので、今回歩容の目標ＺＭＰ軌道と目標床反力鉛直成分軌道が若干ぎざぎざになるだけで、ほとんど問題はない。

【０５６０】

次に本発明の第２実施形態を説明する。なお、本実施形態の説明において、第１実施形態と同一構成部分もしくは同一機能部分については前記第１実施形態と同一の参照符号を用いて説明を省略する。

【０５６１】

本実施形態の概要を説明すると、目標上体姿勢角と実上体姿勢角の差である実上体姿勢角偏差およびまたはその変化率を０に近づけるために、コンプライアンス制御への目標床反力を操作することに加え、目標歩容も修正するようにした。特に、実上体姿勢偏差のうちのヨー角成分およびまたはその角速度にも応じて、目標歩容に動力学的に釣り合う目標ＺＭＰまわりの床反力モーメントの鉛直成分も修正するようにした。

【０５６２】

本実施形態における制御ユニット２６の機能ブロック図を図５２に示す。

【０５６３】

本実施形態においては、姿勢傾斜安定化制御演算部１１２において算出される補償全床反力モーメント水平成分Mdmdxyは、補償全床反力モーメント水平成分分配器１１０に入力される。補償全床反力モーメント水平成分分配器１１０は、補

償全床反力モーメント水平成分Mdmdxyを、コンプライアンス制御用目標床反力モーメントとモデル操作床反力モーメントとに分配する。換言すれば、実上体姿勢傾斜角偏差を基に、姿勢傾斜安定化制御演算部１１２及び補償全床反力モーメント水平成分分配器１１０により、コンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分とモデル操作床反力モーメント水平成分とが決定される。

【０５６４】

具体的には、補償全床反力モーメント水平成分分配器１１０においては、まず、モデル操作床反力モーメント水平成分が次式で決定される。なお、床反力モーメント水平成分許容範囲は、後述するごとく歩容生成装置１００において決定される。

【０５６５】

Mdmdxy＞床反力モーメント水平成分許容範囲上限値である場合

モデル操作床反力モーメント水平成分＝－Mdmdxy

＋床反力モーメント水平成分許容範囲上限値

Mdmdxy＜床反力モーメント水平成分許容範囲下限値である場合

モデル操作床反力モーメント水平成分＝－Mdmdxy

＋床反力モーメント水平成分許容範囲下限値

床反力モーメント水平成分許容範囲下限値≦Mdmdxy、且つ、Mdmdxy≦床反力モーメント水平成分許容範囲上限値である場合

モデル操作床反力モーメント水平成分＝０

……式ｄ２６

【０５６６】

次に、コンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分が次式で決定される。

【０５６７】

コンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分

＝Mdmdxy＋モデル操作床反力モーメント水平成分

……式ｄ２７

【０５６８】

従って、コンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分とモデル操作床反力モーメント水平成分との差がMdmdxyに等しくなるようにそれらの床反力モーメント水平成分が決定される。

【０５６９】

上記のような演算を行なう補償全床反力モーメント水平成分分配器１１０をブロック図で表すと、図５３に示すようになる。

【０５７０】

また、ヨー安定化制御演算部１１３において補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdzが決定される。

具体的には、補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdzは、ヨー角偏差（実上体姿勢偏差のうちのヨー角成分）およびまたはヨー角速度偏差に応じて、次式のように決定される。

【０５７１】

補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdz

＝　Ｋθｂｚ　＊　ヨー角偏差　＋　Ｋωｂｚ＊　ヨー角速度偏差

……式ｄ１０２６

【０５７２】

ただし、Ｋθｂｚおよびヨー角偏差はゲインである。足平と床の間の鉛直軸まわり回転滑りまたは鉛直軸まわり回転振動を防止したいだけなら、Ｋθｂｚを０にすれば良い。ヨー角偏差までも０に近づけようとすると、実床反力モーメント鉛直成分が大きくなる傾向があるからである。

【０５７３】

前記決定された補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdzは、モデル操作床反力モーメント鉛直成分決定器１１１に入力される。モデル操作床反力モーメント鉛直成分決定器１１１は、補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdzを基に、モデル操作床反力モーメント鉛直成分を決定する。換言すれば、実上体ヨー角偏差を基に、ヨー安定化制御演算部１１３及び補償全床反力モーメント鉛直成分分配器１１１により、補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdzとモデル操作床反力モーメント鉛直成分とが決定される。

【０５７４】

具体的には、モデル操作床反力モーメント鉛直成分決定器１１１において、モデル操作床反力モーメント鉛直成分が次式で決定される。なお、床反力モーメント鉛直成分補償量許容範囲は、後述するごとく歩容生成装置１００において決定される。

【０５７５】

Mdmdz＞床反力モーメント鉛直成分補償量許容範囲上限値である場合

モデル操作床反力モーメント鉛直成分＝－Mdmdz

＋床反力モーメント鉛直成分補償量許容範囲上限値

Mdmdz＜床反力モーメント鉛直成分補償量許容範囲下限値である場合

モデル操作床反力モーメント鉛直成分＝－Mdmdz

＋床反力モーメント鉛直成分補償量許容範囲下限値

床反力モーメント鉛直成分補償量許容範囲下限値≦Mdmdz、且つ、Mdmdz≦床反力モーメント鉛直成分補償量許容範囲上限値である場合

モデル操作床反力モーメント鉛直成分＝０

……式ｄ２６ｂ

【０５７６】

上記のような演算を行なう補償全床反力モーメント鉛直成分分配器１１０をブロック図で表すと、図５４に示すようになる。

【０５７７】

コンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分および補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdzは、複合コンプライアンス動作決定部１０４に送られる。

【０５７８】

モデル操作床反力モーメント水平成分および鉛直成分は、歩容生成装置１００に送られる。

【０５７９】

尚、補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdzの代わりに、補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdzとモデル操作床反力モーメント鉛直成分との和を、コンプラ

イアンス制御用目標値として、複合コンプライアンス動作決定部１０４に送っても良い。

【０５８０】

複合コンプライアンス動作決定部１０４は、歩容生成装置１００が生成する目標歩容の運動にロボット１の運動を追従させつつ、歩容生成装置１００が生成する目標全床反力にコンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分と補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdzを加えることによって修正される目標全床反力に実床反力が近づくように、目標足平位置姿勢を修正することにより、機構変形補償付き修正目標足平位置姿勢（軌道）を決定する。

〔０５８１〕

この場合、ロボット１の足平位置姿勢や床反力の全ての状態を目標に一致させることは事実上不可能であるので、第１実施形態と同様、これらの間にトレードオフ関係を与えて妥協的になるべく一致させる。

【０５８２】

詳細は後述するが、歩容生成装置１００は、該歩容生成装置１００において決定される目標ＺＭＰまわりの床反力モーメント水平成分がモデル操作床反力モーメント水平成分となるように動力学モデルを用いて目標歩容の運動（特に上体位置姿勢軌道）を生成すると共に、さらに、前記生成された目標歩容に動力学的に釣り合う目標全床反力中心点（目標ＺＭＰ）回りの目標床反力モーメント鉛直成分にモデル操作床反力モーメント鉛直成分が付加的に発生するように目標歩容の運動（特に腕振り軌道）を修正する。

〔０５８３〕

これら以外の、制御ユニット２６の機能的構成は、前記第１実施形態と同一である。

【０５８４】

第２実施形態における歩容生成装置１００の動作をそのメインフローチャートである図５５を用いて詳説すると、Ｓ３０１０からＳ３０２８までは、Ｓ０１０からＳ０２８と同様の処理を行う。

【０５８５】

次いで、Ｓ３０３０に進み、コンプライアンス制御用の目標ＺＭＰまわりの床反力モーメント水平成分と床反力モーメント鉛直成分補償量の許容範囲を規定するパラメータが決定される。

【０５８６】

なお、床反力モーメント水平成分を、床反力鉛直成分で割ったものが、ＺＭＰ（床反力中心点）の目標ＺＭＰからのずれ量を表すものとなる。従って、床反力モーメント水平成分許容範囲を、床反力鉛直成分で割ることによって、床反力中心点に変換したＺＭＰ許容範囲（床反力中心点許容範囲）のパラメータを設定するようにしてもよい。

【０５８７】

補足すると、Ｓ３０３０で決定するコンプライアンス制御用の床反力モーメント水平成分許容範囲と床反力モーメント鉛直成分補償量許容範囲のパラメータを基に、後述する今回歩容瞬時値発生サブルーチンにおいて、許容範囲の瞬時値が決定され、前記補償全床反力モーメント水平成分分配器１１０および補償全床反力モーメント鉛直成分分配器１１１における処理に用いられる。

【０５８８】

この床反力モーメント水平成分許容範囲については、本願出願人によるＰＣＴ出願ＰＣＴ／ＪＰ０３／００４３５に床反力モーメント許容範囲として設定方法が詳細に記載されているのでここでは、これ以上の説明を省略する。

【０５８９】

コンプライアンス制御用の床反力モーメント鉛直成分補償量は、歩容生成装置において、仮に、歩容生成用の床反力モーメント鉛直成分許容範囲内に制約された目標歩容を生成した場合に、目標歩容が発生する床反力モーメントに付加することができる床反力モーメント鉛直成分の補償量を意味する。したがって、歩容生成用の床反力モーメント鉛直成分許容範囲が実際の摩擦限界よりも十分に狭く設定されていなければ、床反力モーメント鉛直成分補償量許容範囲を広く設定することはできない。

【０５９０】

コンプライアンス制御用の床反力モーメント鉛直成分補償量許容範囲は、歩容

生成用の床反力モーメント鉛直成分許容範囲と相似形に設定すれば良い。また、前記図５の走行歩容の空中期では、コンプライアンス制御用の床反力モーメント鉛直成分補償量許容範囲は、上限値が０、下限値が０の領域に設定される。

【０５９１】

図５５に戻って、上記のごとくＳ３０３０においてコンプライアンス制御用の目標ＺＭＰまわりの床反力モーメント水平成分と床反力モーメント鉛直成分補償量の許容範囲を規定するパラメータを決定した後、あるいはＳ３０１６の判断結果がＮＯである場合には、Ｓ３０３２に進み、今回歩容瞬時値が決定される。Ｓ３０３２では、目標ＺＭＰまわりに前記式ｄ２６に従って決定されるモデル操作床反力モーメント水平成分が発生するように歩容瞬時値が決定される。ただし、歩容に釣り合う床反力モーメント鉛直成分が床反力モーメント鉛直成分許容範囲を越えないように歩容瞬時値が決定される。

【０５９２】

具体的には、図５７、図５８のフローチャートにしたがって歩容瞬時値が決定される。すなわち、Ｓ３０３０では、まず、図５７のＳ３４００からＳ３４１１までの処理が実行される。これらのＳ３４００からＳ３４１１までの処理は、前述した図４２のＳ１４００からＳ１４１１までの処理と全く同一である。

【０５９３】

次いで、S３４１２に進み、前記図５５のＳ０３０で決定したコンプラインス制御用の床反力モーメント水平成分許容範囲および床反力モーメント鉛直成分補償量容範囲のパラメータを基に、現在時刻での床反力モーメント水平成分許容範囲[Mxymin, Mxymax]と床反力モーメント鉛直成分補償量許容範囲[Mzcmin, Mzcmax]の瞬時値（現在時刻ｔの今回値）が求められる。

【０５９４】

求められた床反力モーメント水平成分許容範囲は、前記補償全床反力モーメント水平成分分配器１１０（図５２参照）に送られる。そして、この分配器１１０で前記式ｄ２６により算出されたモデル操作床反力モーメントの今回値（現在時刻ｔの値）が歩容生成装置１００に与えられる。

【０５９５】

また、求められた床反力モーメント鉛直成分補償量容範囲は、前記モデル操作床反力モーメント鉛直成分決定器１１１（図５２参照）に送られる。そして、このモデル操作床反力モーメント鉛直成分決定器１１１で前記式ｄ２６bにより算出されたモデル操作床反力モーメント鉛直成分の今回値（現在時刻ｔの値）が歩容生成装置１００に与えられる。

【０５９６】

次いで、歩容生成装置１００の処理は、Ｓ３４１４に進み、補償全床反力モーメント分配器１１０から与えられたモデル操作床反力モーメント水平成分が目標ＺＭＰまわりに発生するように、今回歩容の上体水平加速度と上体姿勢傾斜角加速とが決定される。ただし、床反力水平成分Fxが、Ｓ３４１０で決定された床反力水平成分許容範囲[Fxmin, Fxmax]を越えないように上体水平加速度および上体姿勢傾斜角加速度が決定される。

【０５９７】

言い換えると、慣性力と重力との合力が目標ＺＭＰまわりに作用するモーメントがモデル操作床反力モーメントの符号を反転したモーメントになるように、今回歩容の上体水平加速度と上体姿勢傾斜角加速とが決定される。ただし、慣性力水平成分の符号を反転した力が床反力水平成分許容範囲[Fxmin, Fxmax]を越えないように上体水平加速度および上体姿勢傾斜角加速度が決定される。

【０５９８】

Ｓ３４１４では、具体的には、図５８に示すフローチャートに従って、上体水平加速度と上体姿勢傾斜角加速度とが決定される。本フローチャートは、前記図２２とほぼ同様の処理が行われる。ただし、Ｓ３１０４およびＳ３１３０では、Ｓ５０４およびＳ５３０と異なり、ロボット１の前回瞬時歩容状態（時刻ｋ－１の歩容状態）から、仮に、上体傾斜モードの角加速度を０にして、上体並進モードの運動をロボット１にさせた場合に今回（時刻ｋ）の目標ＺＭＰまわりに前記モデル操作床反力モーメント水平成分が発生するために必要な上体水平加速度αtmpが求められる。

【０５９９】

以上のごとくＳ３４１４の処理を行った後、Ｓ３４１６に進み、図４２のＳ１４

１４と同一の処理が実行され、今回歩容の上体水平位置および上体姿勢傾斜角（詳しくはそれらの現在時刻ｔにおける今回値）が決定される。

【０６００】

次いでＳ３４１８に進み、図４２のＳ１４１６と同一の処理が実行され、今回歩容の逆位相腕振り角および角速度（詳しくはそれらの現在時刻ｔにおける今回値）が決定される。

これにより、図５５のＳ３０３２の処理が完了する。

【０６０１】

次いで図５５のＳ３０３４に進み、目標ＺＭＰまわりにモデル操作床反力モーメント鉛直成分が付加的に発生するようにＳ３０３２で生成した今回歩容瞬時値を修正する。

【０６０２】

具体的には、モデル操作床反力モーメント鉛直成分に対応する逆位相腕振り角加速度の修正量βaaddを次式によって求める。

【０６０３】

逆位相腕振り角加速度の修正量βaadd

＝　モデル操作床反力モーメント鉛直成分

／　腕振り運動の等価慣性モーメントΔMaz

【０６０４】

さらに、βaaddを制御周期の期間積分して、逆位相腕振り角速度の修正量を求め、さらにこれを積分して逆位相腕振り角の修正量を求める。

【０６０５】

最後に、Ｓ３０３２で生成した今回歩容の逆位相腕振り角および角速度にそれぞれ、逆位相腕振り角速度の修正量および逆位相腕振り角の修正量を加えることにより、今回歩容の逆位相腕振り角および角速度を修正する。

【０６０６】

次いでＳ３０３６に進み、時刻ｔに制御周期Δｔを加え、再び、Ｓ３０１４に戻り、制御周期毎のタイマー割り込みを待つ。

【０６０７】

以上のごとく、歩容生成装置１００における目標歩容生成処理が行なわれ、目標上体位置姿勢、目標足平位置姿勢、目標腕姿勢（逆位相腕振り角を含む）、目標ＺＭＰおよび目標全床反力の瞬時値が逐次決定されて出力される。

【０６０８】

この場合、目標全床反力は、コンプライアンス制御に必要な成分だけを出力しても良い。なお、目標ＺＭＰは、目標全床反力に含まれるが特に重要であるので、あえて出力として挙げた。また、複合コンプライアンス制御装置（図４の点線で囲った部分）に対しては、モデル操作床反力モーメント水平成分は、目標床反力として出力されない。すなわち、コンプライアンス制御に対しては、目標ＺＭＰまわりの床反力モーメント水平成分が０になることを目標とする目標床反力が、歩容生成装置１００から出力される。

【０６０９】

また、複合コンプライアンス制御装置に対しては、Ｓ３０３４において修正された今回歩容の床反力モーメント鉛直成分が目標値として歩容生成装置１００から出力される。

【０６１０】

以上説明した本実施形態の作用１として、目標歩容の運動は、モデル操作床反力モーメント水平成分が目標ＺＭＰまわりに発生するように生成されつつ、実際のロボット１の床反力には、モデル操作床反力モーメント水平成分が付加されないように制御される。したがって、差し引きモデル操作床反力モーメント水平成分分だけ、目標歩容の運動と床反力の不平衡（アンバランス）を生じる。このことは、実ロボット１の上体姿勢傾斜角と目標歩容の上体姿勢傾斜角との差を０に収束させる効果に関して言えば、モデル操作床反力モーメント水平成分の符号を反転した床反力モーメント水平成分を実ロボット１に作用させることと等価である。

【０６１１】

つまり、モデル操作床反力モーメント水平成分を適宜決定することにより、実ロボット１を、修正目標歩容に収束させることができる。つまり、実ロボット１の姿勢傾斜を安定化させることができる。

【０６１２】

作用２として、モデル操作床反力モーメント水平成分の符号を反転したモーメントとコンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分との和がトータルの傾斜復元力になる。すなわち、コンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分とモデル操作床反力モーメント水平成分との差がトータルの傾斜復元力になる。

【０６１３】

また、作用３として、モデル操作床反力モーメント水平成分は、ＺＭＰ存在可能範囲を無視していかなる値でも取ることが可能であるので、非常に高い姿勢傾斜復元力を発生することができる。

【０６１４】

また、作用４として、床反力水平成分が、床反力水平成分許容範囲を越えないように上体並進モードの上体並進加速度と上体傾斜モードの上体姿勢傾斜角加速度とが決定されるので、走行歩容における支持脚側脚体２の離床直前や着床直後など、大きな床反力水平成分を発生できない時期や、摩擦係数の小さい床をロボット１が移動する場合においてもロボット１のスリップを防止することができる。

【０６１５】

また、作用５として、床反力の並進力鉛直成分が０の時期、すなわち、両脚がいずれも接地していない時期では、床反力水平成分の許容範囲が０に設定されることにより、前記した本実施形態のアルゴリズムにより自動的に、上体並進モードに依存せずに上体傾斜モードに依存した姿勢復元が行われ、床と足底の間の摩擦力に依存せずに姿勢復元が行われる。したがって、この時期（空中期）においても、単に、上体並進モードを修正するだけの方式と異なり、有効に姿勢傾斜復元作用が働く。なお、この時には、床反力水平成分が０になるように生成されるから、歩容の全体重心水平加速度は０となる。

【０６１６】

また、作用６として、上記したごとく、コンプライアンス制御に対しては、モデル操作床反力モーメントは、目標床反力として出力されない。すなわち、目標

ＺＭＰまわりにモデル操作床反力モーメントを発生させるように歩容生成が行なわれても、コンプライアンス制御に対しては、目標ＺＭＰまわりの床反力モーメントが０になることを目標とする目標床反力が、歩容生成装置１００から与えられる。したがって、コンプライアンス制御による床反力制御を妨げず、コンプライアンス制御による床反力制御を適切に行うことができる。より具体的には、足平２２の本来の接地性が低下したり、足平２２の底面が浮いてしまうような不具合が発生することを防止または抑制することができる。

〔０６１７〕

なお、後述するように、第２実施例以降でも、目標ＺＭＰまわりのコンプライアンス制御用目標床反力モーメントは、床反力モーメント許容範囲を越えないように決定される。

【０６１８】

なお、作用１から６は、本願出願人が先に提案したＰＣＴ／ＪＰ０３／００４３５の技術と同様である。

【０６１９】

作用７として、目標歩容の運動は、モデル操作床反力モーメント鉛直成分が目標ＺＭＰまわりに付加的に発生するように生成されつつ、実際のロボット１の床反力には、目標歩容生成装置からモデル操作床反力モーメント鉛直成分が付加された目標歩容に釣り合う目標床反力鉛直成分に補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdzを加えたものを目標値として、複合コンプライアンス制御により前記目標値に近づくように実床反力が制御される。したがって、差し引きモデル操作床反力モーメント鉛直成分分だけ、目標歩容の運動と床反力の不平衡（アンバランス）を生じる。このことは、実ロボット１の上体姿勢ヨー角と目標歩容の上体姿勢ヨー角との差を０に収束させる効果に関して言えば、モデル操作床反力モーメント鉛直成分の符号を反転した床反力モーメント鉛直成分を実ロボット１に作用させることと等価である。

【０６２０】

つまり、モデル操作床反力モーメント鉛直成分を適宜決定することにより、実ロボット１を、修正目標歩容に収束させることができる。つまり、実ロボット１

のヨー回転を安定化させることができる。

【０６２１】

作用８として、補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdzがトータルのヨー回転復元力になる。補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdzはヨー角偏差およびまたはヨー角速度偏差を０に近づけるように決定されるので、ヨー角偏差の制御的な安定性が保証されつつ、ヨー角偏差およびまたはヨー角速度偏差を０に近づけることができる。

【０６２２】

また、作用１０として、モデル操作床反力モーメント鉛直成分は、床反力モーメント鉛直成分の許容範囲（あるいは摩擦限界）を無視していかなる値でも取ることが可能であるので、非常に高い姿勢ヨー回転復元力を発生することができる。

【０６２３】

また、作用１０として、コンプライアンス制御に対しては、最終的に目標床反力モーメント鉛直成分が、床反力モーメント鉛直成分許容範囲と床反力モーメント鉛直成分補償量許容範囲の和の範囲を越えないように決定されるので、走行歩容における支持脚側脚体２の離床直前や着床直後など、大きな床反力モーメント鉛直成分を発生できない時期や、摩擦係数の小さい床をロボット１が移動する場合においてもコンプライアンス制御による床反力制御を適切に行うことができ、ロボット１のスリップを防止することができる。より具体的には、足平２２の本来の接地性が低下したり、足平２２の底面が浮いてしまうような不具合が発生することを防止または抑制することができる。

【０６２４】

また、作用１１として、床反力の並進力鉛直成分が０の時期、すなわち、両脚がいずれも接地していない時期では、床反力モーメント鉛直成分許容範囲と床反力モーメント鉛直成分補償量許容範囲が０に設定されることにより、前記した本実施形態のアルゴリズムにより自動的に、実床反力モーメント鉛直成分に依存せずに逆位相腕振りモードに依存したヨー回転復元が行われ、床と足底の間の摩擦力に依存せずにヨー回転復元が行われる。したがって、この時期（空中期）にお

いても、単に、コンプライアンス制御の目標床反力モーメント鉛直成分を修正するだけの方式と異なり、有効にヨー回転復元作用が働く。

【０６２５】

作用１２として、目標ＺＭＰまわりに発生するモーメント（水平成分および鉛直成分）が０になるように生成したとした場合の歩容を元歩容、前記実施形態の如く目標ＺＭＰまわりに発生するモーメントがモデル操作床反力モーメントになるように生成される歩容を修正歩容と呼ぶと、通常、元歩容と修正歩容は異なる歩容となる。元歩容は定常歩容に漸近するように設定されているので、修正歩容は、通常、定常歩容に漸近しない歩容となる。

【０６２６】

しかし、今回歩容（修正歩容）の生成が完了した直後に、再びＳ０２０からＳ０２８が実行され、修正歩容の終端状態を新たな初期状態とした新たな今回歩容が、新たに設定される定常歩容に漸近するように、新たな今回歩容パラメータが決定されるので、継続的に（長期的に）安定性が保証された歩容を生成し続けることができる。

【０６２７】

なお、作用１３は、本願出願人が先に提案したＰＣＴ／ＪＰ０３／００４３５の技術とほぼ同様であるが、これに加えて本実施例では、ヨー回転復元のために修正された逆位相腕振り角および角速度が、修正された逆位相腕振り角および角速度の終端状態を新たな初期状態とした新たな今回歩容の逆位相腕振り角軌道が、新たに設定される定常歩容の逆位相腕振り角軌道に漸近するように、新たな今回歩容の逆位相腕振り角軌道に関するパラメータが決定されるので、継続的に（長期的に）逆位相腕振り角の安定性が保証された歩容を生成し続けることができる。

【０６２８】

なお、本実施形態では、補償全床反力モーメント水平成分Mdmdxyが床反力モーメント水平成分許容範囲内の値であるときには、モデル操作床反力モーメント水平成分は０になるが、このときのモデル操作床反力モーメント水平成分を図１０の動力学モデルの状態量（例えば動力学モデル上でのロボットの重心位置や、上

体質点３ｍの位置等）に応じて設定するようにしてもよい。

【０６２９】

また、本実施形態では、補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdzが床反力モーメント鉛直成分補償量許容範囲内の値であるときには、モデル操作床反力モーメント鉛直成分補償量は０になるが、このときのモデル操作床反力モーメント鉛直成分補償量を図１０の動力学モデルの状態量（例えば動力学モデル上でのロボットの逆位相腕振り角および角速度、上体ヨー角および角速度等）に応じて設定するようにしてもよい。

【０６３０】

次に本発明の第３実施形態を図６０～図６３を参照して説明する。なお、本実施形態の説明において、第１実施形態と同一構成部分もしくは同一機能部分については前記第１実施形態と同一の参照符号を用いて説明を省略する。

【０６３１】

本実施形態の概要を説明すると、元歩容と修正歩容が同時に生成される。修正歩容は、実ロボット１の姿勢（傾斜角およびヨー角）安定化のために修正されると共に、コンプライアンス制御により姿勢復元に必要な床反力モーメントを発生してもまだ余裕がある（目標ＺＭＰまわりに発生可能な床反力モーメントに余裕がある）場合には、この余裕を用いて、可能な範囲で元歩容に収束するように決定される。

【０６３２】

本実施形態における制御ユニット２６の機能ブロック図を図６０に示す。本実施形態では、姿勢傾斜安定化制御演算部１１２が求める補償全床反力モーメント水平成分Mdmdxyは、歩容生成装置１００に入力される。

【０６３３】

また、ヨー安定化制御演算部１１３が求める補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdzも、歩容生成装置１００に入力される。

【０６３４】

そして、このMdmdxyおよびMdmdzを基にモデル操作床反力モーメント（水平成分および鉛直成分）とコンプライアンス制御用目標床反力モーメント（水平成分

および鉛直成分）とを決定する補償全床反力モーメント分配器１２０が、歩容生成装置１００に組み込まれ、該歩容生成装置１００からコンプライアンス制御用目標床反力モーメントが複合コンプライアンス動作決定部１０４に出力される。そして、歩容生成装置１００内の補償全床反力モーメント分配器１２０は後述するように、第１実施形態の補償全床反力モーメント水平成分分配器１１０およびモデル操作床反力モーメント鉛直成分決定器１１１よりも複雑な処理を行う。これ以外の、制御ユニット２６の機能的構成は、前記第１実施形態と同一である。

【０６３５】

図６１に本実施形態における歩容生成装置１００の処理のメインフローチャートを示す。

【０６３６】

同図６１おいて、Ｓ２０１０からＳ２０２８までは、第２実施形態のメインフローチャート（図５５）のＳ３０１０からＳ３０２８までの処理と同一の処理が行なわれる。なお、Ｓ０２８（本実施形態ではＳ２０２８）のサブルーチンである図３２のフローチャートのＳ８００における初期化においては、今回歩容初期状態は、前回修正歩容（歩容生成装置１００が最終的に出力する歩容）の終端状態を今回支持脚座標系に変換したものであり、Ｓ２０３２で決定される元歩容の終端状態は、Ｓ８００では用いられない。

【０６３７】

次いでＳ２０３０に進み、コンプラインス制御用の床反力モーメント水平成分許容範囲を決定する。床反力モーメント水平成分許容範囲の決定方法は、第２実施形態と同様である。

【０６３８】

Ｓ２０３０の処理を完了した後、あるいはＳ２０１６の判断結果がＮＯである場合には、Ｓ２０３２に進み、元歩容の瞬時値（時刻ｔの今回値）が決定される。元歩容は、目標ＺＭＰまわりの床反力モーメント水平成分が０になるように生成される歩容である。

【０６３９】

この元歩容は、前記第２実施形態の図５５のＳ３０３２のサブルーチン処理の

一部を変更したアルゴリズムによって生成される。すなわち、Ｓ３０３２内のサブルーチン処理（詳しくはＳ３０３２のサブルーチン処理である図５７のＳ３４１４のサブルーチン処理）である図５８のＳ３１０４およびＳ３１３０において、モデル操作床反力モーメント水平成分を０として（目標ＺＭＰまわりの目標床反力モーメント水平成分を０として）、上体水平加速度αtmpが求められる。これ以外の処理は、図５５のＳ３０３２の処理と同一でよい。

〔０６４０〕

次いで、Ｓ２０３４に進み、修正歩容の瞬時値を決定する。なお、修正歩容は、歩容生成装置１００から最終的に出力される目標歩容である。

【０６４１】

Ｓ２０３４の処理は、図６２のサブルーチン処理により行なわれ、以下にその詳細を説明する。

【０６４２】

まずＳ２１００からＳ２１１１までは、第２実施形態で説明した図５７のＳ３４００からＳ３４１１と同一の処理が実行される。

【０６４３】

次いで、Ｓ２１１２に進み、歩容パラメータを基に現在時刻での床反力モーメント水平成分許容範囲[Mxymin, Mxymax]を求める。これは、図５７のＳ３４１２での床反力モーメント水平成分許容範囲[Mxymin, Mxymax]の決定と同様に行われる。

【０６４４】

次いで、Ｓ２１１４に進み、床反力モーメント水平成分許容範囲と床反力モーメント鉛直成分許容範囲と床反力水平成分許容範囲との条件を満足するように、モデル操作床反力モーメント（水平成分および鉛直成分）、コンプライアンス制御用目標床反力モーメント、上体水平加速度、上体姿勢傾斜角加速および逆位相腕振り角加速度が決定される。

【０６４５】

Ｓ２１１４の詳細を、その処理を示す図６３のフローチャートを用いて、以下に説明する。

【０６４６】

まず、Ｓ２２００において、修正歩容の上体水平位置と元歩容の上体水平位置との差であるモデル間上体水平位置差が求められる。この時点では、修正歩容の上体水平位置の今回値（時刻ｔでの値）は未だ求められていない。そこで、Ｓ２２００では、修正歩容の上体水平位置の前回値（時刻ｔ－Δｔの制御周期で最終的に求められた値）と、元歩容の上体水平位置の前回値（時刻ｔ－Δｔの制御周期でＳ２０３０において求められた値）あるいは今回値（時刻ｔの制御周期でＳ２０３０において求められた値）とを用いて、モデル間上体水平位置差が算出される。　次いで、Ｓ２２０２に進み、修正歩容の上体姿勢傾斜角と元歩容の上体姿勢傾斜角との差であるモデル間上体姿勢傾斜角差が求められる。このＳ２２０２では、Ｓ２２００のモデル間上体水平位置差の算出処理の場合と同様、修正歩容の上体姿勢傾斜角の前回値と、元歩容の上体姿勢傾斜角の前回値又は今回値とを用いてモデル間上体姿勢傾斜角差が求められる。

【０６４７】

次いで、Ｓ２２０４に進み、修正歩容の逆位相腕振り角と元歩容の逆位相腕振り角との差であるモデル間逆位相腕振り角差が求められる。このＳ２２０４では、Ｓ２２００のモデル間上体水平位置差の算出処理の場合と同様、修正歩容の逆位相腕振り角の前回値と、元歩容の逆位相腕振り角の前回値又は今回値とを用いてモデル間逆位相腕振り角差が求められる。

【０６４８】

次いで、Ｓ２２０６に進み、モデル間上体水平位置差を基に、その差を０に収束させるために必要なモデル上体水平位置安定化床反力モーメント要求値Mpfdmdが決定される。単に修正歩容の上体並進モードの上体水平加速度を発生させる床反力モーメントを元歩容の上体並進モードの上体水平加速度を発生させる床反力モーメントに一致させると、モデル間上体水平位置差は発散する。モデル上体水平位置安定化床反力モーメント要求値Mpfdmdは、前記上体並進モードによって修正歩容の上体水平位置を元歩容の上体水平位置に戻すよう動作を行った時に、これに伴って発生する床反力モーメントから元歩容の上体並進運動モードの上体水平加速度を発生させる床反力モーメントを減じたモーメントとしての意味を持つ

。

【０６４９】

具体的には、モデル上体水平位置安定化床反力モーメント要求値Mpfdmdは、例えば次式のフィードバック制御則によって決定される。この例では、フィードバック制御則として、ＰＤ制御則を用いているが、ＰＩＤ等、他のフィードバック制御則を用いてもよい。

【０６５０】

Mpfdmd＝Kmp＊モデル間上体水平位置差

＋Kmpv＊モデル間上体水平位置差の時間微分値

……式ｄ２８

【０６５１】

但し、Kmp、Kmpvはフィードバックゲイン（比例ゲイン、微分ゲイン）である。

【０６５２】

次いで、Ｓ２２０８に進み、モデル間上体姿勢傾斜角差を基に、その差を０に収束させるために必要なモデル上体姿勢傾斜角安定化床反力モーメント要求値Mrfdmdが決定される。単に修正歩容の上体傾斜モードの上体姿勢傾斜角加速度を発生させる床反力モーメントを元歩容の上体傾斜モードの上体姿勢傾斜角加速度を発生させる床反力モーメントに一致させると、モデル間上体姿勢傾斜角差は０に収束しない。モデル上体姿勢傾斜角安定化床反力モーメント要求値Mrfdmdは、上体傾斜モードによって修正歩容の上体姿勢傾斜角を元歩容の上体姿勢傾斜角に戻すよう動作を行った時に、これに伴って発生する床反力モーメントから元歩容の上体傾斜モードの上体姿勢傾斜角加速度を発生させる床反力モーメントを減じたモーメントとしての意味を持つ。

【０６５３】

具体的には、モデル上体姿勢傾斜角安定化床反力モーメント要求値Mrfdmdは、例えば次式のフィードバック制御則によって決定される。この例では、フィードバック制御則として、ＰＤ制御則を用いているが、ＰＩＤ等、他のフィードバック制御則を用いてもよい。

【０６５４】

Mrfdmd＝Kmr＊モデル間上体姿勢傾斜角差

＋Kmrv＊モデル間上体姿勢傾斜角差の時間微分値

……式ｄ２９

【０６５５】

但し、Kmr、Kmrvはフィードバックゲイン（比例ゲイン、微分ゲイン）である。

【０６５６】

次いで、Ｓ２２１０に進み、モデル間逆位相腕振り角差を基に、その差を０に収束させるために必要なモデル逆位相腕振り角安定化床反力モーメント要求値Mafdmdが決定される。単に修正歩容の逆位相腕振りモードの逆位相腕振り角加速度を発生させる床反力モーメントを元歩容の逆位相腕振りモードの逆位相腕振り角加速度を発生させる床反力モーメントに一致させると、モデル間逆位相腕振り角は０に収束しない。モデル逆位相腕振り角安定化床反力モーメント要求値Mafdmdは、逆位相腕振りモードによって修正歩容の逆位相腕振り角を元歩容の逆位相腕振り角に戻すよう動作を行った時に、これに伴って発生する床反力モーメントから元歩容の逆位相腕振りモードの逆位相腕振り角加速度を発生させる床反力モーメントを減じたモーメントとしての意味を持つ。

【０６５７】

具体的には、モデル逆位相腕振り角安定化床反力モーメント要求値Mafdmdは、例えば次式のフィードバック制御則によって決定される。この例では、フィードバック制御則として、ＰＤ制御則を用いているが、ＰＩＤ等、他のフィードバック制御則を用いてもよい。

【０６５８】

Mafdmd＝Ka＊モデル間逆位相腕振り角差

＋Kav＊モデル間逆位相腕振り角差の時間微分値

……式ｄ２９ｂ

【０６５９】

但し、Kar、Kavはフィードバックゲイン（比例ゲイン、微分ゲイン）である。

【０６６０】

ところで、最終的に決定された修正歩容の上体並進運動モードに伴って発生する床反力モーメント水平成分から元歩容の上体並進運動モードの上体水平加速度を発生させる床反力モーメント水平成分を減じたモーメントを、モデル上体水平位置安定化床反力モーメントと呼ぶ。また、最終的に決定された修正歩容の上体傾斜運動モードに伴って発生する床反力モーメント水平成分から元歩容の上体傾斜運動モードの上体姿勢傾斜角加速度を発生させる床反力モーメント水平成分を減じたモーメントを、モデル上体姿勢傾斜角安定化床反力モーメントと呼ぶ。また、最終的に決定された修正歩容の逆位相腕振り運動モードに伴って発生する床反力モーメント鉛直成分から元歩容の逆位相腕振り運動モードの逆位相腕振り角加速度を発生させる床反力モーメント鉛直成分を減じたモーメントを、モデル逆位相腕振り角安定化床反力モーメントと呼ぶ。

【０６６１】

一方、摂動運動と摂動床反力とには線形性が近似的に成立する、すなわち、異なる摂動運動を元歩容の運動に加えた運動の床反力は、元歩容の床反力にそれぞれの摂動運動が発生する摂動床反力を加えたものにほぼ一致する。また、逆位相腕振りモードでは、床反力モーメント水平成分は変化しない。したがって、次式が近似的に成立する。

【０６６２】

モデル操作床反力モーメント水平成分

＝モデル上体水平位置安定化床反力モーメント

　＋モデル上体姿勢傾斜角安定化床反力モーメント

……式ｄ３０

【０６６３】

したがって、式ｄ３０が近似的に成立することと、逆位相腕振り角加速度に比例して床反力モーメント鉛直成分が変化することとを考慮しつつ、モデル上体水平位置安定化床反力モーメントをモデル上体水平位置安定化床反力モーメント要求値Mpfdmdに一致またはなるべく近くなるように決定し、かつ、モデル上体姿勢傾斜角安定化床反力モーメントをモデル上体姿勢傾斜角安定化床反力モーメント

要求値Mrfdmdに一致またはなるべく近くなるように決定しつつ、かつ、モデル逆位相腕振り角安定化床反力モーメントをモデル逆位相腕振り角安定化床反力モーメント要求値Mafdmdに一致またはなるべく近くなるように決定すれば、修正歩容に適切なモデル操作床反力モーメントを発生させて、以下に示す復元条件を満足しつつ、修正歩容の上体水平加速度と上体姿勢傾斜角加速度とを、それぞれ元歩容の上体水平加速度と上体姿勢傾斜角加速度とに可能な範囲で収束させることができる。

【０６６４】

そこで、Ｓ２２１０の後、Ｓ２２１２に進み、以下の条件（これらを復元条件と呼ぶ）をできる限り満足するようにモデル上体水平位置安定化床反力モーメント（上体並進モードの床反力モーメント）とモデル上体姿勢傾斜角安定化床反力モーメント（上体傾斜モードの床反力モーメント）とモデル逆位相腕振り角安定化床反力モーメントとを決定する。さらに、上記のモデル上体水平位置安定化床反力モーメントとモデル上体姿勢傾斜角安定化床反力モーメントとモデル逆位相腕振り角安定化床反力モーメントとの定義を満足するように、修正歩容の上体水平加速度と上体姿勢傾斜角加速度と逆位相腕振り角加速度とを決定する。なお、以下に示す復元条件は、番号が小さい条件ほど優先度が高いものとする。つまり相反して両立できない条件がある場合には、番号が小さい条件を優先して満足（成立）させる。ただし、復元条件１、２および３は必ず満足（成立）させる。

【０６６５】

復元条件１）補償全床反力モーメント水平成分Mdmdxyとモデル操作床反力モーメントの和（これは、前記式ｄ２７が成立する場合には、コンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分に相当する）が床反力モーメント水平成分許容範囲を越えないこと。

【０６６６】

復元条件２）修正歩容の床反力水平成分が床反力水平成分許容範囲を越えないこと。

【０６６７】

復元条件３）修正歩容の床反力モーメント鉛直成分と補償全床反力モーメント

鉛直成分Mdmdzの和（これは、コンプライアンス制御用目標床反力モーメント鉛直成分に相当する）が、床反力モーメント鉛直成分許容範囲を越えないこと。

【０６６８】

復元条件４）モデル上体姿勢傾斜角安定化床反力モーメントが、モデル上体姿勢傾斜角安定化床反力モーメント要求値Mrfdmdに一致またはできる限り近いこと。この条件は、修正歩容の上体姿勢傾斜角が元歩容（当初予定した歩容）の上体姿勢傾斜角に収束するための条件である。

【０６６９】

復元条件５）モデル上体水平位置安定化床反力モーメントが、モデル上体水平位置安定化床反力モーメント要求値Mpfdmdに一致またはできる限り近いこと。この条件は、修正歩容の上体水平位置が元歩容（当初予定した歩容）の上体水平位置に収束するための条件である。

【０６７０】

復元条件６）モデル逆位相腕振り角安定化床反力モーメントが、モデル逆位相腕振り角安定化床反力モーメント要求値Mafdmdに一致またはできる限り近いこと。この条件は、修正歩容の逆位相腕振り角が元歩容（当初予定した歩容）の逆位相腕振り角に収束するための条件である。

【０６７１】

復元条件７）モデル上体姿勢傾斜角安定化床反力モーメント、モデル上体水平位置安定化床反力モーメントおよびモデル逆位相腕振り角安定化床反力モーメントがそれぞれ連続であること。

【０６７２】

上記のような復元条件１～６を満足するような上体水平加速度、上体姿勢傾斜角加速度、逆位相腕振り角加速度等を決定するＳ２２１２の処理は具体的には例えば次のように実行される。

【０６７３】

まず、上記復元条件１、２、４および５を満足するように、モデル上体水平位置安定化床反力モーメントおよびモデル上体姿勢傾斜角安定化床反力モーメントが決定され、さらに上体水平加速度および上体姿勢傾斜角加速度が決定される。

この処理の詳細は、本願出願人が先に提案したＰＣＴ／ＪＰ０３／００４３５の技術に記載されているので、ここでは説明を省略する。

【０６７４】

次いで、上記復元条件３および６を満足するようにモデル逆位相腕振り安定化床反力モーメントが決定され、さらに逆位相腕振り角加速度が決定される。

【０６７５】

具体的には、上記のごとく決定された上体水平加速度および上体姿勢傾斜角加速度と元歩容の逆位相腕振り角加速度βaorgで仮に運動した場合に発生する（運動に動力学的に釣り合う）目標ＺＭＰまわりの床反力モーメント鉛直成分を求める。以降、これを無補正時床反力モーメント鉛直成分と呼ぶ。

次いで、次式のように、無補正時床反力モーメント鉛直成分とモデル逆位相腕振り角安定化床反力モーメント要求値Mafdmdと補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdzとの和Msumzを求める。

【０６７６】

Msumz　＝　無補正時床反力モーメント鉛直成分

+ Mafdmd　＋Mdmdz

【０６７７】

次いで、次式により、モデル逆位相腕振り安定化床反力モーメントが決定される。

【０６７８】

Msumz＞床反力モーメント鉛直成分許容範囲上限値である場合

モデル逆位相腕振り安定化床反力モーメント＝－Mdmdz

－無補正時床反力モーメント鉛直成分

＋床反力モーメント鉛直成分許容範囲上限値

【０６７９】

Msumz＜床反力モーメント鉛直成分許容範囲下限値である場合

モデル逆位相腕振り安定化床反力モーメント＝－Mdmdz

－無補正時床反力モーメント鉛直成分

＋床反力モーメント鉛直成分許容範囲下限値

【０６８０】

床反力モーメント鉛直成分許容範囲下限値≦Msumz、且つ、Msumz≦床反力モーメント鉛直成分許容範囲上限値である場合

モデル逆位相腕振り安定化床反力モーメント

＝モデル逆位相腕振り角安定化床反力モーメント要求値Mafdmd

……式ｄ２６ｃ

【０６８１】

次いで、修正歩容の逆位相腕振り角加速度が次式によって求められる。

【０６８２】

修正歩容の逆位相腕振り角加速度

＝　元歩容の逆位相腕振り角加速度βaorg

＋　モデル逆位相腕振り安定化床反力モーメント

／　腕振り運動の等価慣性モーメントΔMaz

【０６８３】

修正歩容の床反力モーメント鉛直成分は、元歩容の逆位相腕振り角加速度βaorgとモデル逆位相腕振り安定化床反力モーメントの和であることから、上式のごとくモデル逆位相腕振り安定化床反力モーメントを決定することにより、上記復元条件３が満足される。

【０６８４】

上述したようにＳ２２１２の処理を実行した後、Ｓ２２１４に進み、前記式ｄ３０により、モデル操作床反力モーメント水平成分が決定される。すなわち、Ｓ２２０８で求めたモデル上体水平位置安定化床反力モーメントとモデル上体姿勢傾斜角安定化床反力モーメントとの和がモデル操作床反力モーメント水平成分として決定される。なお、最終的に決定される修正歩容の運動の今回瞬時値に基づいて目標ＺＭＰまわりの床反力モーメントを直接算出して、これをもってモデル操作床反力モーメントとしても良い。

【０６８５】

次いで、Ｓ２２１６に進み、前記式ｄ２７により、コンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分が決定される。すなわち、補償全床反力モーメント

水平成分MdmdxyとＳ２２１４で求めたモデル操作床反力モーメント水平成分との和がコンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分として決定される。

【０６８６】

次いで、Ｓ２２１８に進み、図示する式によって、コンプライアンス制御用目標床反力モーメント鉛直成分を決定する。なお、図示する式における修正歩容に釣り合う床反力モーメント鉛直成分は、無補正時床反力モーメント鉛直とモデル逆位相腕振り安定化床反力モーメントの和であるが、最終的に決定される修正歩容の運動の今回瞬時値に基づいて目標ＺＭＰまわりの床反力モーメント鉛直成分を直接算出しても良い。

【０６８７】

以上により、図６２のＳ２１１４の処理が終了し、次に、Ｓ２１１６に進む。このＳ２１１６の処理は、前記第２実施形態における図５７のＳ３４１６と同一であり、上体水平加速度の２階積分により上体水平位置の今回値が決定されると共に、上体姿勢傾斜角加速度の２階積分により上体姿勢傾斜角の今回値が決定される。

【０６８８】

次に、Ｓ２１１８に進む。このＳ２１１８の処理は、前記第２実施形態における図５７のＳ３４１８と同一であり、逆位相腕振り角加速度の２階積分により逆位相腕振り角の今回値が決定される。

【０６８９】

次いで、図６１のＳ２０３６に進んで、時刻ｔに制御周期Δｔを加え、再び、Ｓ２０１４に戻り、制御周期毎のタイマー割り込みを待つ。

【０６９０】

なお、補足すると、本実施形態における動力学モデルによる歩容瞬時値決定においては、動力学モデルの状態量（あるいは前回、前前回の歩容瞬時値）も必要であるので、修正歩容生成用と元歩容生成用との２つの動力学モデルが必要である。

【０６９１】

本実施形態においては、上記のごとく、元歩容と修正歩容とが並列的に生成さ

れ、修正歩容は、実ロボット１の姿勢（傾斜角およびヨー角）安定化のために修正されると共に、コンプライアンス制御により姿勢復元に必要な床反力モーメント（水平成分および鉛直成分）を発生してもまだ余裕がある場合には、この余裕を用いて、可能な範囲で元歩容に収束するようにしている。このため、前記第２実施形態の作用効果に加え、当初設定した元歩容に近い、すなわち、当初の要求通りの歩容に近い歩容を生成することができる。したがって、あらかじめ設定された移動経路がある場合には、移動経路から大きくずれることを防止することが可能となる。また、修正歩容の上体姿勢傾斜角が元歩容（当初決定した歩容）の上体姿勢傾斜角に収束することを、修正歩容の上体水平位置が元歩容（当初決定した歩容）の上体水平位置に収束することよりも優先した（床反力水平成分許容範囲を満たす範囲で可能な限り上体並進モードの運動を調整した）ので、上体姿勢傾斜角が大きく変動することを抑制することができる。

【０６９２】

次に本発明の第４実施形態を図６４～図７３を参照して説明する。なお、本実施形態の説明で、前記第１、第２もしくは第３実施形態と同一構成部分もしくは同一機能部分については第１、第２もしくは第３実施形態と同一の参照符号を用いて詳細な説明を省略する。

【０６９３】

本実施形態では、制御ユニット２６の機能的構成は、前記第３実施形態のもの、すなわち前記図６０に示したものと同一である。但し、本実施形態では、歩容生成装置１００が実行する歩容生成のアルゴリズムは、前記第３実施形態のものと相違している。そして、歩容生成装置１００以外の各部の処理は、前記第３実施形態と同一である。

【０６９４】

図６４は、本実施形態における歩容生成装置１００の処理の概要を示すブロック図である。この図６４を参照して、歩容生成装置１００の処理の概要を以下に説明する。なお、図６４を用いて以下に説明する処理の概要は、後述する第５～第７実施形態についても同様である。

【０６９５】

図示の如く、歩容生成装置１００は歩容パラメータ決定部１００ａを備える。歩容パラメータ決定部１００ａは、目標歩容のパラメータ（目標歩容を規定するパラメータ）の値あるいは時系列テーブルを決定する。これは、後述の図６５のフローチャートのＳ３５２０からＳ３５３０までの処理に相当する。

【０６９６】

詳細は後述するが、歩容パラメータ決定部１００ａが決定するパラメータには、目標足平位置姿勢軌道、目標腕姿勢軌道、基準上体姿勢軌道、目標ＺＭＰ軌道、目標床反力鉛直成分軌道等を規定するパラメータが含まれる他、床反力水平成分許容範囲を規定するパラメータと、ＺＭＰ許容範囲を規定するパラメータと床反力モーメント鉛直成分許容範囲が含まれる。この場合、本実施形態で設定する床反力水平成分許容範囲および床反力モーメント鉛直成分許容範囲は、後述のＳ３５２６の処理で設定される単純化モデル歩容用のものと、Ｓ３５３０で設定される歩容補正用のものとの２種類がある。一方、ＺＭＰ許容範囲は、Ｓ３０３０処理で設定される歩容補正用のものだけである。

【０６９７】

ここで、ＺＭＰ許容範囲は、本実施形態における床反力モーメント水平成分許容範囲に対応するものであり、図５６の如く設定される。詳細は、ＰＣＴ／ＪＰ０３／００４３５に詳細に記載されているのでここでは、これ以上の説明を省略する。

【０６９８】

歩容パラメータ決定部１００ａで決定された歩容パラメータは目標瞬時値発生部１００ｂに入力される。目標瞬時値発生部１００ｂは入力された歩容パラメータに基づき、目標足平位置姿勢、目標ＺＭＰ、目標床反力鉛直成分、目標腕姿勢、目標全体重心鉛直位置、目標上体鉛直位置、床反力水平成分許容範囲、ＺＭＰ許容範囲、基準上体姿勢角および基準逆位相腕振り角の、現在時刻ｔにおける瞬時値を逐次算出（発生）する（図６４では一部の目標瞬時値のみを記載している）。この目標瞬時値発生部１００ｂの処理は、後述の図６５のフローチャートＳ３５３２の処理のなかで実行される図５７のＳ３４００～Ｓ３４１２の処理、並びに、図６５のＳ３５３４の処理に相当する。なお、本実施形態では、目標瞬時

値発生部１００ｂが算出する目標瞬時値のうち、一部の瞬時値（具体的には目標上体鉛直位置の瞬時値）は仮値であり、後に修正される。また、目標瞬時値発生部１００ｂが算出する床反力水平成分許容範囲および床反力モーメント鉛直成分許容範囲の瞬時値は、単純化モデル歩容用の瞬時値と歩容補正用の瞬時値とがある。

【０６９９】

目標瞬時値発生部１００ｂで算出（発生）された目標瞬時値（一部は仮瞬時値）は、フルモデル補正部１００ｃに入力される。また、フルモデル補正部１００ｃには、前記姿勢傾斜安定化制御演算部１１２（図６０を参照）で求められる補償全床反力モーメント水平成分Md mdxyおよび前記ヨー安定化制御演算部１１３（図６０を参照）で求められる補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdzも入力される。フルモデル補正部１００ｃは、動力学モデルとして、単純化モデル１００ｃ１とフルモデル１００ｃ２とを備える。該フルモデル補正部１００ｃは、単純化モデル１００ｃ１に基づいて、入力値から目標上体位置姿勢および逆位相腕振り角の仮瞬時値等を決定すると共に、さらに決定された上体位置姿勢および逆位相腕振り角の仮瞬時値等をフルモデル１００ｃ２を用いて修正する。

【０７００】

尚、単純化モデル１００ｃ１をフルモデル補正部１００ｃ２に含ませない構成も可能である。また、フルモデル１００ｃ２は、後述するように、逆フルモデル（逆動力学フルモデル）と順フルモデル（順動力学フルモデル）とのいずれかを含む。

【０７０１】

フルモデル補正部１００ｃは、基本的には、次のA1～A3の条件を満足するように、Bの処理を実行する。すなわち、フルモデル補正部１００ｃは、

A1）単に単純化モデルに基づいて生成した歩容（以降、これを単純化モデル歩容と呼ぶ）よりも高い精度で動力学的平衡条件を満足する。

A2）真のＺＭＰ（目標ＺＭＰのまわりにコンプライアンス制御用目標床反力モーメントを発生させることによって修正された本来の定義を満足するＺＭＰ）は、ＺＭＰ許容範囲（安定余裕が十分維持できる許容範囲）に存在する。

A3）床反力水平成分は歩容補正用の床反力水平成分許容範囲内にある。
A4）目標ＺＭＰのまわりに発生すべきコンプライアンス制御用目標床反力モーメント鉛直成分が床反力モーメント鉛直成分許容範囲内にある。
という条件を満足するように、
B）単純化モデルを用いて決定された単純化モデル歩容の上体位置姿勢を補正すると共に、目標ＺＭＰまわりのコンプライアンス制御用目標床反力モーメントを出力する。

【０７０２】

なお、上記条件A2は、目標ＺＭＰまわりに発生させる床反力モーメントをＺＭＰ許容範囲に対応する床反力モーメント許容範囲内に収めることと同等である。

【０７０３】

ここで、上記単純化モデル１００ｃ１とフルモデル１００ｃ２とについて説明しておく。単純化モデル１００ｃ１は、動力学的精度よりも、演算量低減や挙動解析のし易さに重点を置いた動力学モデルであり、動力学的に一部無視があったり（例えば、重心まわりの角運動量変化を無視したり）、矛盾があるもの（厳密さを欠くもの）でも良い。本実施形態では前記第１実施形態で説明した図１０の動力学モデル（前記式０１～０５で記述される動力学モデル）が単純化モデル１００ｃ１として用いられる。

【０７０４】

また、フルモデル１００ｃ２は、単純化モデル１００ｃ１とは異なるロボット動力学モデルを意味する。これは、単純化モデル１００ｃ１よりも近似精度の高いロボット動力学モデルであることが望ましい。図示例で説明すれば、本実施形態では先に述べたように前記図１０に示した動力学モデルを単純化モデル１００ｃ１として用いるので、それよりも、近似精度の高い、例えば図１１に示す多質点モデル（ロボット１の各リンクにそれぞれ質点を有するモデル）のようなロボット動力学モデルをフルモデル１００ｃ２として用いることが望ましい。この場合、該フルモデル１００ｃ２は、質点のまわりに慣性モーメントを設定するものであっても良い。

【０７０５】

しかし、単純化モデル１００ｃ１とフルモデル１００ｃ２とは、必ずしもモデルの近似精度が異なる必要はない。単純化モデル１００ｃ１とフルモデル１００ｃ２とは、動力学方程式が同じで、床反力水平成分許容範囲およびまたは床反力モーメント鉛直成分許容範囲が異なっている、すなわち、単純化モデル歩容用の許容範囲と、歩容補正用の許容範囲とが異なっているだけでも良い。たとえば、単純化モデル１００ｃ１を用いた歩容を生成する際の床反力水平成分許容範囲および床反力モーメント鉛直成分許容範囲を大きくとり（摩擦限界を越えていても良い）、フルモデル１００ｃ２を用いて歩容を修正する際の床反力水平成分許容範囲および床反力モーメント鉛直成分許容範囲をスリップしにくいように狭く設定するだけでも良い。

【０７０６】

尚、この明細書において、目標足平位置姿勢、目標床反力（特に、目標ＺＭＰと目標床反力鉛直成分）に基づいて（入力して）上体位置姿勢および逆位相腕振り角を算出する（出力させる）のに使用するモデルを「順動力学モデル」と呼び、目標足平位置姿勢、目標上体姿勢、目標上体位置および逆位相腕振り角に基づいて（入力して）床反力（特に、目標ＺＭＰもしくは目標ＺＭＰまわりの床反力モーメント（水平成分および鉛直成分）と床反力水平成分）を算出する（出力させる）のに使用するモデルを「逆動力学モデル」と呼ぶ。順動力学モデルの入力には、少なくとも目標床反力が含まれ、逆動力学モデルの入力には、少なくとも目標運動が含まれる。

【０７０７】

フルモデル補正部１００ｃが備えるフルモデル１００ｃ２は、逆動力学フルモデル（しばしば「逆フルモデル」と略称）または順動力学フルモデル（しばしば「順フルモデル」と略称）を備える。一般的には、逆動力学モデルの演算に比べ、順動力学モデルの演算は、演算量が多くなりがちである。

【０７０８】

以上が歩容生成装置１００における処理の概要である。

【０７０９】

次に、本実施形態における歩容生成装置１００の処理を詳説する。本実施形態

における歩容生成装置１００は、図６５のフローチャートに示す処理を実行して、歩容を生成する。

【０７１０】

まず、Ｓ３５１０からＳ３５２８までにて、前記第２実施形態で説明した図５５のＳ３０１０からＳ３０２８までの処理と同一の処理が実行される。なお、Ｓ３０２６のサブルーチンである図２９のＳ６０８で決定する今回歩容の床反力水平成分許容範囲およびＳ６０８で決定する床反力モーメント鉛直成分許容範囲は、前記第１、第２および第３実施形態の場合よりも厳密に摩擦力限界を考慮せずともよく、摩擦力限界を超えるような範囲に設定してもよい。これは、後述するフルモデル補正によって、床反力水平成分および床反力モーメント鉛直成分は最終的に歩容補正用の床反力水平成分許容範囲および床反力モーメント鉛直成分許容範囲によって制限されることとなるからである。

【０７１１】

次いで、Ｓ３０３０に進み、歩容補正用の床反力水平成分許容範囲と床反力モーメント鉛直成分許容範囲とＺＭＰ許容範囲（床反力中心点許容範囲）とをそれぞれ規定するパラメータを決定する。この場合、歩容補正用の床反力水平成分許容範囲は、例えば前記単純化モデル歩容用の床反力水平成分許容範囲と同様、Ｘ軸方向（前後方向）、Ｙ軸方向（左右方向）のそれぞれについて、床反力鉛直成分軌道と、前記式１２とに基づいて、前記図３０に示したようなパターンに設定される。そして、例えば、前記式１２のka*μの値が歩容補正用の床反力水平成分許容範囲を規定するパラメータとして設定される。但し、この床反力水平成分許容範囲は、式１２の係数ｋａの値を、単純化モデル歩容用の床反力水平成分許容範囲よりも小さめに設定する等して、確実に摩擦限界内の範囲に設定することが望ましい。

【０７１２】

床反力モーメント鉛直成分許容範囲に関しても同様に設定される。

【０７１３】

また、ＺＭＰ許容範囲は、前記第２実施形態における図５５のＳ３０３０で床反力モーメント許容範囲の設定に関して説明した場合と同様に設定される。なお

、ＺＭＰ許容範囲に、床反力鉛直成分を乗算することで、ＺＭＰ許容範囲をこれと等価な床反力モーメント許容範囲に変換してもよいことはもちろんである。

【０７１４】

次いで、Ｓ３５３２に進み今回歩容瞬時値（現在時刻ｔの値）が前記単純化モデル（図１０の動力学モデル）を用いて決定される。このＳ３５３２の処理は、第１実施形態における図１２のＳ０３０の処理と同一である。

【０７１５】

以上説明したＳ３５３２までの処理によって生成された現在時刻ｔにおける歩容の瞬時値を、以降、単純化モデル歩容瞬時値という。本実施形態では、この単純化モデル歩容瞬時値は、単純化モデル（図１０の動力学モデル）を用いて、ロボット１にその運動によって発生する慣性力と重力との合力が目標ＺＭＰまわりに発生する床反力モーメント水平成分が０になるように（目標ＺＭＰに関する動力学的平衡条件を満たすように）決定される。

【０７１６】

この場合、単純化モデル歩容瞬時値のうちの、上体水平位置および上体姿勢傾斜角の瞬時値と、上体鉛直位置の瞬時値と、逆位相腕振り角の瞬時値とは仮瞬時値であり、後述するフルモデル補正によって補正されるものである。また、本実施形態における単純化モデル歩容瞬時値のうち、目標ＺＭＰまわりの目標床反力モーメント水平成分の瞬時値は定常的に０であるが、後述するフルモデル補正によって目標ＺＭＰまわりに発生させる床反力モーメント水平成分の目標値としてのコンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分が生成される。

【０７１７】

次に、Ｓ３５３４に進み、歩容補正用の床反力水平成分許容範囲と床反力モーメント鉛直成分許容範囲とＺＭＰ許容範囲を規定するパラメータ（Ｓ３５３０で設定したもの）を基に、歩容補正用の床反力水平成分許容範囲と床反力モーメント鉛直成分許容範囲とＺＭＰ許容範囲との瞬時値（現在時刻ｔの値）が求められる。

【０７１８】

次いで、Ｓ３５３６に進み、フルモデルを用いて補正歩容の発生（歩容の補正

）を行い、最終的な目標歩容の瞬時値が決定される。すなわち、前記図６４を参照して説明したように、補正目標上体位置姿勢、補正目標逆位相腕振り角や、目標ＺＭＰまわりの目標床反力モーメント（水平成分および鉛直成分）としてのコンプライアンス制御用目標床反力モーメント（水平成分および鉛直成分）の算出（決定）などが実行される。

【０７１９】

次いで、Ｓ３５３８に進み、時刻ｔをΔｔだけ増やし、再びＳ３５１４に戻り、Ｓ３５１４からＳ３５３８までの処理が繰り返される。

【０７２０】

上記Ｓ３５３６の処理は、本実施形態の特徴をなす部分であり、以下にその処理を詳説する。本実施形態に係る装置の歩容補正手法は、フルモデルフィードフォワード補正型である。また、逆動力学フルモデル（逆フルモデル）を用いる手法で、かつ単純化モデル歩容の入力を補正しない手法であり、かつ摂動モデルを用いる手法である。

【０７２１】

図６６は、本実施形態に係る歩容生成装置１００の動作、具体的には、図６５のフロー・チャートのＳ３５３６の歩容の修正手法を説明する機能ブロック図である。ただし、図６６の単純化モデル２００は、単に動力学モデルだけでなく、前述のＳ３５１０からＳ３５３２の処理、すなわち単純化モデル歩容瞬時値の算出（決定）処理を表す。したがって、図６６において、単純化モデル２００から先の部分がＳ３５３６の処理に相当する。

【０７２２】

尚、歩容補正用の床反力水平成分許容範囲とＺＭＰ許容範囲の瞬時値を決定処理は、図６５のフローチャートの参照符号Ｓ３５３４を用いて示している。

【０７２３】

実際の処理はひとつのコンピュータで実行されるので、ブロック図を離散化した後、ブロック図の上流側から下流側（歩容出力側）に向かって順に実行される。ただし、上流側に戻るフィードバック量は、前回制御周期（現在時刻ｔに対して時刻ｔ－Δｔ）に算出した値（状態量）を用いることとする。尚、以降、前回

制御周期（時刻ｔ－Δｔ）に算出した値を前回値と略す。

【０７２４】

Ｓ３５３６の処理が実行される毎に、ブロック図の１制御周期分の演算が実行される。

【０７２５】

Ｓ３５３６では、まず、上記のごとく得られた単純化モデル歩容の目標上体姿勢角（以降、単純化モデル上体姿勢角と呼ぶ。また、この内の傾斜角成分を単純化モデル上体姿勢傾斜角と呼ぶ。）、目標上体水平位置（以降、単純化モデル上体水平位置と呼ぶ）、目標重心位置、目標足平位置姿勢、目標腕姿勢（目標逆位相腕振り角を含む）などの運動を表す変数（これを運動変数と呼ぶ）の瞬時値と、目標ＺＭＰの瞬時値とが前記逆動力学フルモデル（逆フルモデル）２０１に入力される。入力された運動変数で表される運動に釣り合う（すなわち運動によってフルモデルが発生する）床反力水平成分と目標ＺＭＰまわりの床反力モーメント（水平成分および鉛直成分）が、逆フルモデル２０１の演算処理によって算出される。なお、単純化モデル歩容における目標ＺＭＰまわりの床反力モーメント水平成分は０であるので、逆フルモデル２０１によって算出される目標ＺＭＰまわりの床反力モーメント水平成分は、単純化モデル歩容の誤差としての意味を持つものである。

【０７２６】

なお、逆フルモデル２０１により求められた床反力水平成分と床反力モーメント水平成分と床反力モーメント鉛直成分とをそれぞれ「フルモデル床反力水平成分」、「フルモデル床反力モーメント水平成分」、「フルモデル床反力モーメント鉛直成分」と呼ぶ。また、以降、しばしば、フルモデル床反力水平成分をFfull、フルモデル床反力モーメント水平成分をMfullxy、フルモデル床反力モーメント鉛直成分をMfullz、と略す。

【０７２７】

また、前記逆フルモデル２０１は、目標重心位置を満足する上体鉛直位置を算出する。さらに、図示は省略しているが、逆フルモデル２０１は、重心水平位置も算出する。

【０７２８】

補足すると、フルモデルには目標全体重心鉛直位置を入力しており、また目標床反力鉛直成分は目標全体重心鉛直位置の２階微分値から求められるので、フルモデルには、特に目標床反力鉛直成分を入力する必要はない。冗長であっても演算を減らすためなどの理由で、フルモデルに目標床反力鉛直成分を入力しても良い。

【０７２９】

ここで、歩容補正に用いられる摂動モデルについて説明する。

【０７３０】

摂動モデルは、上体水平位置補正用摂動モデル２０２、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル２０３および逆位相腕振り角補正用摂動モデル２３１から成る。尚、摂動モデルは、このように３つのモデルに分離しないで、図１０のようなひとつのモデルにしても良い。

【０７３１】

上体水平位置補正用摂動モデル２０２は、前記上体並進モードにおける床反力の摂動と上体水平位置の摂動との関係を表す。

【０７３２】

上体水平位置補正用摂動モデル２０２は、目標床反力モーメントの補正量を入力し、これに動力学的に釣り合う目標上体水平位置の補正量を算出する。この入力（目標床反力モーメントの補正量）を、上体水平位置補正用摂動モデルモーメントMpと呼ぶ。また、上体水平位置補正用摂動モデル２０２の出力（目標上体水平位置の補正量）を、補正用摂動モデル上体水平位置Xcと呼ぶ。また、上体水平位置補正用摂動モデル２０２が発生する床反力水平成分を上体水平位置補正用摂動モデル床反力水平成分Fpと呼ぶ。

【０７３３】

上体水平位置補正用摂動モデル２０２は、図６７のように、支点と倒立振子質点（上体質点）とこれらを結合する伸縮自在な支持棒から成る倒立振子で表される。支点の水平位置は前記した今回歩容の支持脚座標系の原点の水平位置に一致し、支点の鉛直位置は目標ＺＭＰの鉛直位置に一致するように支点の位置が設定

されている。倒立振子質点の質量mbは、図１０に示す前記単純化モデル（３質点＋フライホイールのモデル）の上体質点質量と同じである。倒立振子質点の鉛直位置Zcは、単純化歩容に対応する図１０に示す単純化モデルの上体質点位置の鉛直位置Zbと同一とする。

【０７３４】

この上体水平位置補正用摂動モデル２０２は、前記単純化モデル（３質点モデル）の動力学方程式の式０１、式０２、式０３において、床反力モーメントの摂動ΔMyと上体質点水平位置の摂動ΔXbの関係を表す。

【０７３５】

そこで、My、Xb、Zb以外は定数とみなして、床反力モーメントの摂動ΔMyと上体質点水平位置の摂動ΔXbの関係を式０３yから求めると、次式が得られる。

【０７３６】

$$\Delta My = -mb*\Delta Xb*(g+d2Zb/dt2) + mb*(Zb-Zzmp)*d2\Delta Xb/dt2 \quad \cdots式a12$$

【０７３７】

同様に、Fx、Xb以外は定数とみなして、床反力水平成分の摂動ΔFxと上体質点水平位置の摂動ΔXbの関係を式０２ｘから求めると、次式が得られる。

【０７３８】

$$\Delta Fx = mb*d2\Delta Xb/dt2 \quad \cdots式a13$$

【０７３９】

上体水平加速度によって発生するΔＭｐとΔFpの比である前記上体並進モード床反力比率ｈは、式ａ１２右辺のうちの上体水平加速によって発生する項（すなわち第２項）と式ａ１３との比であるから、次式が得られる。

【０７４０】

$$h = (Zb-Zzmp) \quad \cdots式a14$$

【０７４１】

すなわち、上体並進モード床反力比率ｈは、単純化モデルの上体質点（倒立振子質点）の支点からの高さに相当する。

【０７４２】

よって、式ａ１２と式ａ１４より次式が得られる。

【０７４３】

$\Delta My = -mb*\Delta Xb*(g+d2Zb/dt2) + mb*h*d2\Delta Xb/dt2$　　…式ａ１５

【０７４４】

一方、上体質点（倒立振子質点）に作用する重力と慣性力との合力の並進力鉛直成分に釣り合う床反力鉛直成分を上体床反力鉛直成分Fbzと呼ぶ。すなわち、上体床反力鉛直成分Fbzは、次式で定義される。

【０７４５】

$Fbz = mb*(g+d2Zb/dt2)$　　…式ａ１６

【０７４６】

式ａ８より、上体床反力鉛直成分Fbzは次式となる。

【０７４７】

$Fbz = Fz-msup*(g+d2Zsup/dt2)-mswg*(g+d2Zswg/dt2)$

…式ａ１７

【０７４８】

言い換えると、上体床反力鉛直成分は、床反力鉛直成分Fzと図１０に示す前記単純化モデル（３質点＋フライホイールのモデル）の両脚質点に作用する重力と慣性力との合力の並進力鉛直成分との和に等しい。

【０７４９】

式ａ１６を式ａ１５に代入することにより、次式が得られる。

【０７５０】

$\Delta My = -Fbz*\Delta Xb + mb*h*d2\Delta Xb/dt2$　　…式ａ１８

【０７５１】

式ａ１８のΔMyを上体水平位置補正用摂動モデルモーメントMp、ΔXbを補正用摂動モデル上体水平位置Xcに対応させることにより（式ａ１８のΔMyに上体水平位置補正用摂動モデルモーメントMp、ΔXbに補正用摂動モデル上体水平位置Xcを代入することにより）、次式が得られる。

【０７５２】

$Mp = -Fbz*Xc + mb*h*d2Xc/dt2$　　…式ａ１９

【０７５３】

すなわち、上体水平位置補正用摂動モデル２０２は、式ａ１４によって求められる上体並進モード床反力比率ｈと式ａ１７によって求められる上体床反力鉛直成分Fbzを用いて、式ａ１９で表される。

【０７５４】

また、式ａ１３のΔFxを上体水平位置補正用摂動モデル床反力水平成分Fpに対応させることにより、次式が得られる。

【０７５５】

Fp = mb*d2Xc/dt2　　…式ａ２０

【０７５６】

すなわち、式ａ１４、式ａ１７、式ａ１９、式ａ２０によって上体水平位置補正用摂動モデル２０２が記述される。

【０７５７】

補足すると、ここでは、上体質点位置の摂動と上体位置（上体代表点位置）の摂動は一致するものとみなしているが、厳密には、一致するとは限らない。従って、Mp、FpとXcの関係を求めるためには、さらに上体質点水平位置と上体位置の幾何学的関係を表すモデルが必要である。

【０７５８】

一方、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル２０３は、前記上体傾斜モードにおける床反力の摂動と上体姿勢傾斜角の摂動の関係を表す。

【０７５９】

上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル２０３は、床反力モーメント水平成分の補正量が入力され、これに動力学的に釣り合う目標上体姿勢傾斜角の補正量を算出する。この入力（床反力モーメントの補正量）を、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデルモーメントMrと呼ぶ。また、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル２０３の出力（目標上体姿勢傾斜角の補正量）を補正用摂動モデル上体姿勢傾斜角θcと呼ぶ。また、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデルが発生する床反力水平成分を上体水平位置補正用摂動モデル床反力水平成分Frと呼ぶ。Frは前述したごとく０である。すなわち、次式が常に成立する。

【０７６０】

Fr = 0　　…式ａ２１

【０７６１】

上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル２０３は、図６８のように、フライホイールFHで表される。（補足すると、実際には、Ｙ軸まわり回転だけでなく、Ｘ軸まわり回転のフラーホイールも必要とする。）フライホイールのイナーシャは、図１０に示した前記単純化モデル（３質点モデル＋フライホイール）のフライホイールFHx、FHy、と同じである。この上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル２０３のフライホイールの回転角度が補正用摂動モデル上体姿勢傾斜角θc、そのフライホイールによって発生する床反力モーメント水平成分が上体姿勢傾斜角補正用摂動モデルモーメントMrに相当する。

【０７６２】

この上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル２０３は、前記単純化モデル（３質点＋フライホイールのモデル）の動力学方程式の前記式０３において、床反力モーメントの摂動ΔMyと上体姿勢傾斜角の摂動Δθbyの関係を表している。

【０７６３】

そこで、My、θby以外は定数とみなして、床反力モーメント水平成分の摂動ΔMyと上体姿勢傾斜角の摂動Δθbyの関係を式０３x、式０３yから求めると、次式が得られる。

【０７６４】

ΔMy = J*d2Δθby/dt2　　…式ａ２２

【０７６５】

式ａ２２のΔMyを上体姿勢傾斜角補正用摂動モデルモーメントMr、Δθbyを補正用摂動モデル上体姿勢傾斜角θcに対応させることにより、次式が得られる。

【０７６６】

Mr = J*d2Δθc/dt2　　…式ａ２３

【０７６７】

すなわち、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル２０３は、式ａ２３で表される。また、上体水平位置補正用摂動モデル床反力水平成分Frは上記したごとく式ａ２

１のようになる（Ｆｒ＝０）。

【０７６８】

また、逆位相腕振り角補正用摂動モデル２３１は、前記逆位相腕振りモードにおける床反力の摂動と逆位相腕振り角の摂動の関係を表す。

【０７６９】

逆位相腕振り角補正用摂動モデル２３１は、床反力モーメント鉛直成分の補正量が入力され、これに動力学的に釣り合う目標逆位相腕振り角の補正量を算出する。この入力（床反力モーメント鉛直成分の補正量）を、逆位相腕振り角補正用摂動モデルモーメントMaと呼ぶ。また、逆位相腕振り角補正用摂動モデル２０３の出力（目標逆位相腕振り角の補正量）を補正用摂動モデル逆位相腕振り角θcaと呼ぶ。また、逆位相腕振り角補正用摂動モデルが発生する床反力水平成分を逆位相腕振り角補正用摂動モデル床反力水平成分Faと呼ぶ。Faは前述したごとく０である。すなわち、次式が常に成立する。

【０７７０】

Fa = 0　　…式a２１c

【０７７１】

逆位相腕振り角補正用摂動モデル２３１は、図６９のように、フライホイールで表される。フライホイールのイナーシャは、図１０に示した前記単純化モデル（３質点モデル＋フライホイール）のフライホイールFHazと同じである。この逆位相腕振り角補正用摂動モデル２３１のフライホイールの回転角度が補正用摂動モデル逆位相腕振り角θca、そのフライホイールによって発生する床反力モーメント鉛直成分が逆位相腕振り角補正用摂動モデルモーメントMaに相当する。

【０７７２】

この逆位相腕振り角補正用摂動モデル２０３は、前記単純化モデル（３質点＋フライホイールのモデル）の動力学方程式の前記式０３zにおいて、床反力モーメントの摂動ΔMzと上体姿勢傾斜角の摂動Δθazの関係を表している。

【０７７３】

そこで、Mz、θaz以外は定数とみなして、床反力モーメントの摂動ΔMzと上体姿勢傾斜角の摂動Δθazの関係を式０３から求めると、次式が得られる。

【０７７４】

ΔMz = Jaz*d2Δθaz/dt2　　…式ａ２２ｃ

【０７７５】

式ａ２２のΔMzを上体姿勢傾斜角補正用摂動モデルモーメントMa、Δθazを補正用摂動モデル上体姿勢傾斜角θcaに対応させることにより、次式が得られる。

【０７７６】

Ma = Jaz*d2Δθca/dt2　　…式ａ２３ｃ

【０７７７】

すなわち、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル２０３は、式ａ２３ｃで表される。また、上体水平位置補正用摂動モデル床反力水平成分Frは上記したごとく式ａ２１ｃのようになる（Fa＝０）。

【０７７８】

後述するように、Ｓ３５３６では、最終的に、補正歩容（より詳しくは、単純化モデル歩容の一部の瞬時値を補正した目標瞬時値）が生成（出力）される。補正歩容の目標上体姿勢傾斜角（これを以降、補正目標上体姿勢傾斜角と呼ぶ）は、前記求めた単純化モデル上体姿勢傾斜角の瞬時値（Ｓ３０３２で求めた今回歩容の現在時刻ｔでの目標上体姿勢傾斜角の瞬時値）に前記補正用摂動モデル上体姿勢傾斜角θｃ（現在時刻ｔの制御周期で求められる値）を演算部２０４で加えることにより得られる。補正歩容の目標上体水平位置（これを以降、補正目標上体水平位置と呼ぶ）は、前記求めた単純化モデル上体水平位置の瞬時値（Ｓ０３２で求めた今回歩容の現在時刻ｔでの目標上体水平位置の瞬時値）に補正用摂動モデル上体水平位置Xc（現在時刻ｔの制御周期で求められる値）を演算部２０５で加えることにより得られる。また、補正歩容の目標逆位相腕振り角（これを以降、補正目標逆位相腕振り角と呼ぶ）は、前記求めた単純化モデル逆位相腕振り角の瞬時値（Ｓ０３２で求めた今回歩容の現在時刻ｔでの目標逆位相腕振り角の瞬時値）に補正用摂動モデル逆位相腕振り角θca（現在時刻ｔの制御周期で求められる値）を演算部で加えることにより得られる。

【０７７９】

補正歩容の目標床反力も修正される。具体的には、目標ＺＭＰまわりの床反力

モーメント水平成分が０でなくなり、コンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分が目標値として出力される。また、目標床反力水平成分も、補正目標床反力水平成分に修正され、出力される。また、目標床反力モーメント鉛直成分も、補正目標床反力モーメント鉛直成分に修正され、出力される。

【０７８０】

ところで、上記のごとく、補正歩容の運動は、単純化モデル歩容の運動に摂動モデルの運動（詳しくは上体位置姿勢補正用摂動モデルと上体姿勢傾斜角補正用摂動モデルの運動と逆位相腕振り角補正用摂動モデルの運動）を加えた（合成した）運動である。

【０７８１】

一般に、ある基準運動に、ある摂動運動を加えた運動が発生する床反力は、基準運動が発生する床反力（運動によって発生する重力と慣性力に釣り合う床反力）と摂動運動によって発生する床反力の摂動分の和で近似される。

【０７８２】

また、上体傾斜運動モードが発生する床反力水平成分、上体傾斜運動モードが発生する床反力モーメント鉛直成分、逆位相腕振り運動モードが発生する床反力水平成分および逆位相腕振り運動モードが発生する床反力モーメント水平成分がいずれも０であることを考慮すると、補正歩容が、動力学的平衡条件を精度良く満足するためには、（言い換えると、補正歩容の運動によって逆フルモデル２０１上で発生する床反力が補正目標床反力とほぼ一致する）ためには、以下の３つの式を満足しなければならない。

【０７８３】

フルモデル床反力モーメント水平成分Mfullxy
＋上体水平位置補正用摂動モデルモーメントMp
＋上体姿勢傾斜角補正用摂動モデルモーメントMr
＝　補正目標床反力モーメント水平成分

…式h５

【０７８４】

フルモデル床反力水平成分Ffull

＋上体水平位置補正用摂動モデル床反力水平成分Fp

＝　補正目標床反力水平成分

…式h６

【０７８５】

フルモデル床反力モーメント鉛直成分Mfullz

＋上体水平位置補正用摂動モデルモーメント鉛直成分Mpz

＋逆位相腕振り角補正用摂動モデルモーメント鉛直成分Maz

＝　補正目標床反力モーメント鉛直成分

…式ｈ１００６

〔０７８６〕

ただし、上体水平位置補正用摂動モデルモーメント鉛直成分Mpzは、上体水平位置補正用摂動モデルの運動によって逆フルモデル２０１上で発生する床反力モーメント鉛直成分である。また、式h５、式ｈ１００６のモーメントは、元の（単純モデルの）目標ＺＭＰまわりのモーメントである。

【０７８７】

また、補正歩容の真のＺＭＰは、補正目標床反力モーメントを目標床反力鉛直成分で割った値だけ、単純化モデル歩容の目標ＺＭＰ（理想目標ＺＭＰ）からずれた点に変更される。

【０７８８】

補正歩容の真のＺＭＰ　＝　目標ＺＭＰ

＋　補正目標床反力モーメント/目標床反力鉛直成分

…式h７

【０７８９】

尚、補正歩容の真のＺＭＰのX方向（前後方向）成分を算出する場合には、補正目標床反力モーメントのY軸（左右方向軸）まわり成分を用いる。また、補正歩容の真のＺＭＰのY方向成分を算出する場合には、補正目標床反力モーメントのX軸（前後軸）まわり成分を用いる。ただし、補正歩容の真のＺＭＰのY方向成分を算出する場合には、式h７の右辺の「＋」は「－」にしなければならない。

【０７９０】

補足すると、補正歩容の真のＺＭＰまわりの補正目標床反力モーメント鉛直成分を算出するようにしても良い。

【０７９１】

補正歩容の真のＺＭＰまわりの補正目標床反力モーメント鉛直成分は、元の目標ＺＭＰまわりのモーメントに補正歩容の真のＺＭＰと目標ＺＭＰの差と式ｈ６で求めた補正目標床反力水平成分との外積を加えたものとなる。

【０７９２】

式ｈ７から求められる補正歩容の真のＺＭＰは、ＺＭＰ許容範囲内になければならない。これをＺＭＰ制約条件と呼ぶ。

【０７９３】

また、補正目標床反力水平成分は、歩容補正用の床反力水平成分許容範囲内になければならない。これを床反力水平成分制約条件と呼ぶ。

【０７９４】

また、補正目標床反力モーメント鉛直成分は、歩容補正用の床反力モーメント鉛直成分許容範囲内になければならない。これを床反力モーメント鉛直成分制約条件と呼ぶ。

【０７９５】

以上のように、補正歩容は、式ｈ５、式ｈ６、式ｈ１００６、ＺＭＰ制約条件（式ｈ７から得られる補正歩容の真のＺＭＰの存在範囲条件）床反力水平成分制約条件および床反力モーメント鉛直成分制約条件を満足しなければならない。

【０７９６】

しかし、単に、これらの式や条件を満足するだけでは、前記補正用摂動モデル上体位置と前記補正用摂動モデル上体姿勢傾斜角と逆位相腕振り角が発散してしまう。

【０７９７】

そこで、前記上体水平位置補正用摂動モデル２０２と前記上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル２０３と前記逆位相腕振り角補正用摂動モデル２３１の状態量（より具体的には、補正用摂動モデル上体水平位置速度、補正用摂動モデル上体姿勢傾斜角・角速度、角補正用摂動モデル逆位相腕振り角・角速度など）を基に、こ

れらの状態量がある所定の状態に収束する（安定する）ように、補正用摂動モデル２０２，２０３，２３１の安定化制御を行う。

【０７９８】

まず、上体水平位置補正用摂動モデル２０２の安定化制御について詳細を説明する。

【０７９９】

上体水平位置補正用摂動モデル２０２を目標整定位置に収束（安定）させるための制御則を上体水平位置補正用摂動モデル制御則２０６と呼び、この制御則が決定するフィードバック量（操作量）を上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mpfdmdと呼ぶ。ここで「要求値」を付けたのは、後述するように、真のＺＭＰが前記ＺＭＰ許容範囲内に存在し、かつ、床反力水平成分が床反力水平成分許容範囲内になるように、上記制御則で決定された値に制限が加えられて修正されるからである。制限が加えられて修正されたモーメントを、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpfと呼ぶ。

【０８００】

具体的に上体水平位置補正用摂動モデル制御則２０６としては、式ｈ１０を用いる。ただし、目標整定位置は、式ｈ８で与えられる。また、mtotalは前記ロボット総重量、mbは前記上体質点質量（倒立振子質量）であり、XGfは、単純化モデル歩容の瞬間姿勢を基にフルモデルを用いて計算される重心水平位置、すなわち、前記逆フルモデルが算出する重心水平位置である。また、Kpp、Kpvはフィードバック制御のゲインである。

目標整定位置　＝　－mtotal/mb*(XGf－XGs)　　…式ｈ８

上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mpfdmd
= Kpp *（補正用摂動モデル上体水平位置Xc－目標整定位置）
+ Kpv * 補正用摂動モデル上体水平速度dXc/dt
－補正用摂動モデル上体水平位置Xc * 上体床反力鉛直成分Fbz

…式ｈ１０

【０８０１】

上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメント要求値MpfdmdのX軸（前後方向軸）まわり成分を求める場合には、補正用摂動モデル上体水平位置速度および目標整定位置はY軸方向（左右方向）成分を用いる。

【０８０２】

上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメント要求値MpfdmdのY軸（左右方向軸）まわり成分を求める場合には、補正用摂動モデル上体水平位置速度および目標整定位置はX軸方向（前後方向）成分を用い、右辺第３項の「－」を「+」に代える。

【０８０３】

詳細は、先に本出願人が提案したＰＣＴ／ＪＰ０３／００４３５に記載されているので、ここではこれ以上の説明を省略する。

【０８０４】

次に、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル２０３の安定化制御について詳細を説明する。

【０８０５】

目標瞬時値発生部１００ｂが出力する基準上体姿勢傾斜角（図５７のＳ３４０４で求められたもの）あるいは単純化モデルによる目標上体姿勢傾斜角（図５７のＳ３４１４で求められたもの）に、補正目標上体姿勢傾斜角、すなわち、単純化モデルによる目標上体姿勢傾斜角に補正用摂動モデル上体姿勢傾斜角を加えたものが整定あるいは追従するように、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル２０３の状態に応じて、ＰＩ制御などのフィードバック制御則によってフィードバック量（操作量）を決定し、これを上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル２０３に付加的に入力する。

【０８０６】

この制御則を上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル制御則２０７と呼び、このフィードバック量（操作量）を上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mrfdmdと呼ぶ。ここで「要求値」を付けたのは、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mpfdmdと同様の理由からである。制限が加えられて

修正されたモーメントを、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル安定化モーメントMrfと呼ぶ。

【０８０７】

上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mrfdmdを決定する上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル制御則２０７は、具体的には、次式のようにすれば良い。

上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mrfdmd
= Krp*（補正用摂動モデル上体姿勢傾斜角θc
　　－（基準上体姿勢傾斜角－単純化モデルによる目標上体姿勢傾斜角））
+ Krv * 補正用摂動モデル上体姿勢傾斜角速度dθc/dt

…式ｈ１１

ただし、Krp、Krvはフィードバック制御のゲインである。

【０８０８】

なお、式ｈ１１において、（基準上体姿勢傾斜角－単純化モデルによる目標上体姿勢傾斜角）の代わりに０としてもよい。

【０８０９】

再び、図６６の機能ブロック図を用いてＳ３５３６の処理を説明すると、上記のごとく、前記上体水平位置補正用摂動モデル制御則２０６（式ｈ１０）によって上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mpfdmdが求められる。また、前記上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル制御則２０７（式ｈ１１）によって上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mrfdmdが求められる。

【０８１０】

次いで、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpfが０であったと仮定した場合の上体位置補正用摂動モデルの床反力推定（算出）値F0がF0演算部２０８により求められる。後述するように、上体水平位置補正用摂動モデル２０２には、フルモデル床反力モーメント水平成分Mfullxyに、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpfを加えられたものが入力される。したがって、F0は、上体水平位置補正用摂動モデル２０２にフルモデル床反力モーメント水平

成分Mfullxyの符号を反転させたものだけが入力された場合に上体水平位置補正用摂動モデル２０２が発生する床反力である。

【０８１１】

具体的には、次式によってF0が求められる。

【０８１２】

F0＝mb*d2Xc/dt2－1/h * Mpf　　…式ｈ１２

【０８１３】

右辺第１項は、前回（時刻ｔ－Δｔ）の上体水平位置補正用摂動モデル２０２の床反力水平成分を表す。

【０８１４】

右辺第２項は、前回の上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpfによって、上体水平位置補正用摂動モデル２０２に直接的に発生した（すなわち直達項の）床反力水平成分を表す。

【０８１５】

すなわち、上体水平位置補正用摂動モデル２０２の前回の上体質点水平加速度に上体質点の質量mbを乗じた値から、前回の上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpfを上体並進モード床反力比率ｈで割った値を減じることによって、Mpfが０であったと仮定した場合の上体位置補正用摂動モデルの床反力F0の推定値が求められる。

【０８１６】

次に、前記制約（床反力水平成分条件およびＺＭＰ制約条件）を無視して、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpfを上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mpfdmdに一致させ、かつ、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル安定化モーメントMrfを、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mrfdmdに一致させると共に、目標ＺＭＰまわりの目標床反力モーメント水平成分としてのコンプライアンス制御用目標床反力モーメントを補償全床反力モーメント水平成分MdmdxyとMpfとMrfとの総和に一致させたと仮定した場合に、目標ＺＭＰまわりに発生する床反力モーメント水平成分MinがMin演算部２０９により求められる。この床反力モーメント水平成分を無制限時補正目標床反力

モーメント水平成分Minと呼ぶ。無制限時補正目標床反力モーメント水平成分Minは、次式によって求められる。

【０８１７】

Min = Mpfdmd + Mrfdmd＋Mdmdxy　　…式ｈ１３

【０８１８】

すなわち、無制限時補正目標床反力モーメント水平成分Minは、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mpfdmdと上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mrfdmdと補償全床反力モーメント水平成分Mdmdxyとを加算することにより得られる。

【０８１９】

次いで、前記制約（床反力水平成分制約条件およびＺＭＰ制約条件）を無視して、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpfを上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mpfdmdに一致させ、かつ、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル安定化モーメントMrfを、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mrfdmdに一致させると共に、コンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分を補償全床反力モーメント水平成分MdmdxyとMpfとMrfとの総和に一致させたと仮定した場合に、発生する床反力水平成分FinがFin演算部２１０により求められる。この床反力水平成分を無制限時補正目標床反力水平成分Finと呼ぶ。

【０８２０】

補正目標床反力水平成分は、前記式ｈ６によって得られるが、前述のごとく、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル２０３の挙動によって上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル２０３には床反力水平成分は発生しない、すなわちFrは０である。したがって、無制限時補正目標床反力水平成分Finは、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpfが０であったと仮定した場合の補正目標床反力水平成分に、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpfを０から上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mpfdmdに変更したことによって増加する床反力水平成分を加えたものになる。

【０８２１】

ところで、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpfを０から上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mpfdmdに変更したことによって増加する床反力水平成分は、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mpfdmdを上体並進モード床反力比率ｈで割った値になる。

【０８２２】

したがって、無制限時補正目標床反力水平成分Finは、式ｈ１５に示すように、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mpfdmdを上体並進モード床反力比率ｈで割った値に、前記求めたフルモデル床反力水平成分Ffullを加算し、さらに、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpfが０であったと仮定した場合の上体位置補正用摂動モデルの床反力の算出値F0を加算することによって得られる。

【０８２３】

Fin = 1/h * Mpfdmd + Ffull + F0　　…式ｈ１５

【０８２４】

次いで、制限手段（制限処理部）２１１によって、無制限時補正目標床反力モーメント水平成分Minと無制限時補正目標床反力水平成分Finとから、これらに制限を加えた値である（目標ＺＭＰまわりの）制限補正目標床反力モーメント水平成分Mltdと制限補正目標床反力水平成分Fltdが決定される。本実施形態では、コンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分は、制限補正目標床反力モーメント水平成分Mltdに一致し、補正歩容の床反力水平成分は制限補正目標床反力水平成分Fltdに一致する。

【０８２５】

制限補正目標床反力モーメント水平成分Mltdと制限補正目標床反力水平成分Fltdとは、補正歩容（コンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分を含む）の真のＺＭＰが前記ＺＭＰ許容範囲内に存在し、かつ、補正歩容の床反力水平成分が床反力水平成分許容範囲内になるように決定される。すなわち、MltdおよびFltdはＺＭＰ制約条件および床反力水平成分制約条件を満足するように決定される。

【０８２６】

また、上記制約条件下で、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpは、可能な限り、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mpfdmdに一致または近い値になるように決定される。同様に、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル安定化モーメントMrは、可能な限り上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mrfdmdに一致または近い値になるように決定される。これにより、前記補正用摂動モデル上体位置Xcと前記補正用摂動モデル上体姿勢傾斜角θcとを安定化し、発散することを防止する。

【０８２７】

制限手段（制限処理部）２１１の詳細は、先に本出願人が提案したＰＣＴ／ＪＰ０３／００４３５に記載されているので、ここではこれ以上の説明を省略する。

【０８２８】

次いで、以下の式により、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpf、および上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル安定化モーメントMrfがそれぞれMpf演算部２１２、Mrf演算部２１３により求められる。

【０８２９】

Mpf = (Fltd－Ffull－F0)*h　　…式ｈ２０

【０８３０】

Mrf = Mltd－Mpf－Mdmd　　…式ｈ２１

【０８３１】

すなわち、Mpf演算部２１２では、制限補正目標床反力水平成分Fltdから、フルモデル床反力水平成分Ffullを減じ、Mpが０であったと仮定した場合の上体位置補正用摂動モデル２０２の床反力の算出値F0を減じた値に、上体並進モード床反力比率ｈを乗じることにより、前記上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpfが得られる。また、Mrf演算部２１３では、目標ＺＭＰまわりの制限補正目標床反力モーメント水平成分Mltdから前記上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpfと補償全床反力モーメント水平成分Mdmdxyとを減じることにより、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル安定化モーメントMrfが得られる。

【０８３２】

次いで、以下の式により、上体水平位置補正用摂動モデル床反力モーメントMp、および上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル床反力モーメントMrが求められる。

【０８３３】

Mp = Mpf－Mfull　　…式ｈ２２

【０８３４】

Mr = Mrf　　…式ｈ２３

【０８３５】

すなわち、Mp演算部２１４にて、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpfからフルモデル床反力モーメント水平成分Mfullxyを減じることにより、上体水平位置補正用摂動モデル床反力モーメントMpが得られる。また、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル床反力モーメントMrは、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル安定化モーメントMrfと同一の値とされる。

【０８３６】

次いで、上体水平位置補正用摂動モデル床反力モーメントMpが上体位置補正用摂動モデル２０２に入力され、その入力された床反力モーメントに釣り合う補正用摂動モデル上体位置Xcが算出される。

【０８３７】

また、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル床反力モーメントMrが上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル２０３に入力され、その入力された床反力モーメント水平成分に釣り合う補正用摂動モデル上体姿勢傾斜角θcが算出される。

【０８３８】

次いで、演算部２０５，２０４にて、それぞれ次式ｈ２４、式ｈ２５に従って、補正目標上体水平位置と補正目標上体姿勢傾斜角とが決定され、これらがそれぞれ上体水平位置姿勢の最終的な目標瞬時値として出力される。

【０８３９】

補正目標上体水平位置

= 単純化モデル上体水平位置 + 補正用摂動モデル上体位置Xc

…式ｈ２４

【０８４０】

補正目標上体姿勢傾斜角

＝　単純化モデル上体姿勢傾斜角 ＋ 補正用摂動モデル上体姿勢傾斜角θｃ

…式ｈ２５

【０８４１】

すなわち、単純化モデル上体水平位置に補正用摂動モデル上体位置Xcを加えることにより補正目標上体水平位置が得られ、これが最終的な目標上体水平位置として出力される。また、単純化モデル上体姿勢傾斜角に補正用摂動モデル上体姿勢傾斜角θcを加えることにより補正目標上体姿勢傾斜角が得られ、これが最終的な目標上体姿勢傾斜角として出力される。

【０８４２】

また、目標ＺＭＰまわりのコンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分として制限補正目標床反力モーメント水平成分Mltdが出力されると共に、補正目標床反力水平成分として制限補正目標床反力水平成分Fltdが出力される。

【０８４３】

すなわち、次式ｈ２６、式ｈ２７に従って、補正目標床反力水平成分と目標ＺＭＰまわりの補正目標床反力モーメント水平成分とがそれぞれ、床反力水平成分および床反力モーメント水平成分（目標ＺＭＰまわりのモーメント水平成分）の最終的な目標瞬時値として決定され、これらが出力される。

【０８４４】

コンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分

＝ 制限補正目標床反力モーメント水平成分Mltd

…式ｈ２６

【０８４５】

補正目標床反力水平成分

＝　制限補正目標床反力水平成分Fltd

…式ｈ２７

【０８４６】

Ｓ３５３６における以上までの処理は、ＰＣＴ／ＪＰ０３／００４３５の通りである。さらに、摂動モデル逆位相腕振り角補正モーメント決定部において、逆

位相腕振り角補正用摂動モデルへの入力である逆位相腕振り角補正用摂動モデルモーメントMaと目標床反力モーメント鉛直成分が決定される。次いで、逆位相腕振り角補正用摂動モデルモーメントMaは、逆位相腕振り角補正用摂動モデルに入力され、補正用摂動モデル逆位相腕振り角θcaが決定される。

【０８４７】

補足すると、目標瞬時値発生部１００ｂが出力する基準逆位相腕振り角（図５７のＳ３４０４で求められたもの）あるいは単純化モデルによる目標逆位相腕振り角（図５７のＳ３４１４で求められたもの）に、補正目標逆位相腕振り角、すなわち、単純化モデルによる目標逆位相腕振り角に補正用摂動モデル逆位相腕振り角を加えたものが整定あるいは追従するように、逆位相腕振り角補正用摂動モデル２３１の状態に応じて、ＰＩ制御などのフィードバック制御則によってフィードバック量（操作量）を決定し、これを逆位相腕振り角補正用摂動モデル２３１に付加的に入力する。

【０８４８】

この制御則を逆位相腕振り角補正用摂動モデル制御則２３１と呼び、このフィードバック量（操作量）を逆位相腕振り角補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mafdmdと呼ぶ。ここで「要求値」を付けたのは、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mpfdmdと同様の理由からである。制限が加えられて修正されたモーメントを、逆位相腕振り角補正用摂動モデル安定化モーメントMafと呼ぶ。

【０８４９】

逆位相腕振り角補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mafdmdを決定する逆位相腕振り角補正用摂動モデル制御則は、具体的には、次式のようにすれば良い。

【０８５０】

逆位相腕振り角補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mafdmd

= Kap*（補正用摂動モデル逆位相腕振り角θca

－（基準逆位相腕振り角－単純化モデルによる目標逆位相腕振り角））

+ Kav * 補正用摂動モデル逆位相腕振り角速度dθca/dt

…式ｈ３０

ただし、Kap、Kavはフィードバック制御のゲインである。

【０８５１】

なお、式ｈ３０において、（基準逆位相腕振り角－単純化モデルによる目標逆位相腕振り角）の代わりに０としてもよい。

【０８５２】

以下に、摂動モデル逆位相腕振り角補正モーメント決定部の動作についてその機能ブロック図である図７９を用いて詳細を説明する。

【０８５３】

まず、上記のごとく、前記逆位相腕振り角補正用摂動モデル制御則（式ｈ３０）によって逆位相腕振り角補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mafdmdが求められる。

【０８５４】

次いで、、上体水平位置補正用摂動モデルを用いた上体水平位置補正に起因する床反力モーメント鉛直成分摂動量Mpzが、上体水平位置補正に起因する床反力モーメント鉛直成分摂動量Mpz算出部によって求められる。

【０８５５】

具体的には、次式によって求められる。

【０８５６】

Mpz　＝（単純モデル上体質点位置

＋　補正用摂動モデル上体位置Xc　－　目標ＺＭＰ）

＊（単純モデル上体質点水平加速度

＋　補正用摂動モデル上体加速度d 2Xc/dt2）

－　（単純モデル上体質点位置　－　目標ＺＭＰ）

＊（単純モデル上体質点水平加速度）

…式ｈ３１

【０８５７】

あるいは、上式を近似した以下の式を用いても良い。

【０８５８】

Mpz ≒ 補正用摂動モデル上体位置Xc

＊（単純モデル上体質点水平加速度

＋ 補正用摂動モデル上体加速度d2Xc/dt2）

＋ （単純モデル上体質点位置 － 目標ＺＭＰ）

＊ 補正用摂動モデル上体加速度d2Xc/dt2）

…式ｈ３２

【０８５９】

次に、前記床反力モーメント鉛直成分条件を無視して、逆位相腕振り角補正用摂動モデル安定化モーメントMafを、逆位相腕振り角補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mafdmdに一致させると共に、目標ＺＭＰまわりの目標床反力モーメント鉛直成分としてのコンプライアンス制御用目標床反力モーメント鉛直成分を補償全床反力モーメント鉛直成分MdmdzとMafとMfullzとMpzとの総和に一致させたと仮定した場合に、目標ＺＭＰまわりに発生する床反力モーメント鉛直成分Minzが演算部により求められる。この床反力モーメント鉛直成分を無制限時補正目標床反力モーメント鉛直成分Minzと呼ぶ。無制限時補正目標床反力モーメント鉛直成分Minzは、次式によって求められる。

【０８６０】

Minz = Mafdmd ＋Mdmdz＋Mfullz＋Mpz　　…式ｈ３３

【０８６１】

すなわち、無制限時補正目標床反力モーメント鉛直成分Minzは、逆位相腕振り角補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mafdmdと補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdzとフルモデル床反力モーメント鉛直成分をMfullzと上体水平位置補正用摂動モデルモーメント鉛直成分Mpzとを加算することにより得られる。

【０８６２】

次いで、制限手段（制限処理部）によって、無制限時補正目標床反力モーメント鉛直成分Minzから、これに制限を加えた値である（目標ＺＭＰまわりの）制限補正目標床反力モーメント鉛直成分Mltdzが決定される。本実施形態では、コンプライアンス制御用目標床反力モーメント鉛直成分は、制限補正目標床反力モーメント鉛直成分Mltdzに一致する。

【０８６３】

制限補正目標床反力モーメント鉛直成分Mltdzは、床反力モーメント鉛直成分許容範囲内になるように決定される。すなわち、Mltdzは床反力モーメント鉛直成分制約条件を満足するように決定される。

【０８６４】

また、上記制約条件下で、逆位相腕振り角補正用摂動モデル安定化モーメントMaは、可能な限り、逆位相腕振り角補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mafdmdに一致または近い値になるように決定される。これにより、前記補正用摂動モデル逆位相腕振り角θcaを安定化し、発散することを防止する。

【０８６５】

制限手段（制限処理部）は、次式に示す飽和特性を持った関数である。

【０８６６】

Minz＞床反力モーメント鉛直成分許容範囲上限値である場合

Mltdz ＝ 床反力モーメント鉛直成分許容範囲上限値

Minz＜床反力モーメント鉛直成分許容範囲下限値である場合

Mltdz ＝ 床反力モーメント鉛直成分許容範囲下限値

床反力モーメント鉛直成分許容範囲下限値≦Minz、且つ、Minz≦床反力モーメント鉛直成分許容範囲上限値である場合

Mltdz ＝ Minz

…式h３４

【０８６７】

次いで、以下の式により、逆位相腕振り角補正用摂動モデルモーメントMafMaf演算部により求められる。

【０８６８】

$$Ma = Mltdz - (Mdmdz + Mfullz + Mpz)$$

…式h３５

【０８６９】

すなわち、Ma演算部では、制限補正目標床反力モーメント鉛直成分Mltdzから、補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdzとフルモデル床反力モーメント鉛直成

分をMfullzと上体水平位置補正用摂動モデルモーメント鉛直成分Mpzとを減じることによって、逆位相腕振り角補正用摂動モデルモーメントMaが得られる。

【０８７０】

一方、目標ＺＭＰまわりのコンプライアンス制御用目標床反力モーメント鉛直成分として制限補正目標床反力モーメント鉛直成分Mltdが出力される。

【０８７１】

すなわち、次式ｈ３５に従って、目標ＺＭＰまわりの補正目標床反力モーメント鉛直成分が床反力モーメント鉛直成分（目標ＺＭＰまわりのモーメント鉛直成分）の最終的な目標瞬時値として決定され、これらが出力される。

【０８７２】

コンプライアンス制御用目標床反力モーメント鉛直成分

＝ 制限補正目標床反力モーメント鉛直成分Mltdz

…式ｈ３６

【０８７３】

以上のごとく、摂動モデル逆位相腕振り角補正モーメント決定部の処理が行われた後、逆位相腕振り角補正用摂動モデルモーメントMaは、図６６の逆位相腕振り角補正用モデルに入力され、その入力された床反力モーメント水平成分に釣り合う補正用摂動モデル逆位相腕振り角θcaが、式ａ２３ｃを用いて（積分することによって）算出される。

【０８７４】

次いで、演算部にて、次式ｈ３７に従って、補正目標逆位相腕振り角が決定され、これが逆位相腕振り角の最終的な目標瞬時値として出力される。

【０８７５】

補正目標逆位相腕振り角

＝　単純化モデル逆位相腕振り角

＋ 補正用摂動モデル逆位相腕振り角θca

…式ｈ３７

【０８７６】

すなわち、単純化モデル逆位相腕振り角に補正用摂動モデル逆位相腕振り角θ

caを加えることにより補正目標逆位相腕振り角が得られる、これが最終的な目標逆位相腕振り角として出力される。

【０８７７】

以上のごとく、Ｓ３５３６の歩容補正が行われる。

【０８７８】

尚、補足すると、本実施形態は、フィードフォワード型の補正であり、また、摂動動力学モデルは厳密モデルではない。このため、上記のごとく式h５、式h６および式h１００６を満足するように歩容を補正しても、厳密には、動力学平衡条件を満足するするわけではなく、近似的に動力学平衡条件を満足する。

【０８７９】

また、本実施形態では、例えば１歩の歩容の終端（今回歩容終端）において、上体水平位置補正用摂動モデル２０２の上体運動と上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル２０３と逆位相腕振り角補正用摂動モデル２３１との状態量、例えば上体水平位置補正用摂動モデル２０２の上体質点（倒立振子質点）の水平位置や、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル２０３のフライホールの回転角や、逆位相腕振り角補正用摂動モデル２３１のフライホールの回転角は、単純化モデル２００の状態量として追加される。つまり、今回歩容終端における単純化モデル２００の状態量が、上体水平位置補正用摂動モデル２０２の上体運動と上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル２０３と逆位相腕振り角補正用摂動モデル２３１との状態量を加えたものに修正される。さらに、各摂動モデル２０２，２０３，２３１の状態量は初期化される（例えば上体水平位置補正用摂動モデル２０２の上体質点（倒立振子質点）の水平位置や、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル２０３のフライホールの回転角や、逆位相腕振り角補正用摂動モデル２３１のフライホールの回転角が０にリセットされる）。そして、上記の如く修正した単純化モデル２００の状態量を次回歩容の初期値として、次回歩容の生成が行なわれると共に、各摂動モデル２０２，２０３，２３１による補正用摂動モデル上体水平位置Xc、補正用摂動モデル上体姿勢傾斜角θcおよび補正用摂動モデル逆位相腕振り角θcaの算出が行なわれる。これにより各摂動モデル２０２，２０３，２３１の挙動の安定性をより一層高めることができる。なお、上記のような単純化モデル２００の状態量の

修正は、歩容の生成途中で適宜行なってもよい。逆に、上記のような単純化モデル２００の状態量の修正や摂動モデルのリセットを、歩容の生成途中に行なわなくてもよい。

【０８８０】

また、上記のような単純化モデル２００の状態量の修正は、後述する第５、第６実施形態においても同様に行なわれる。

【０８８１】

本実施形態では、前記復元条件すべてを満足する。したがって、前記第３実施形態と同様の作用効果を奏することができる。

【０８８２】

さらに、第３実施形態の作用効果に加え、前記復元条件を満足するように上体水平位置、上体姿勢傾斜角および逆位相腕振り角を決定する際に、演算量を比較的少ないいものとすることができる。

【０８８３】

次に本発明の第５実施形態を以下に説明する。第５実施形態に係る装置の補正手法は、前記第４実施形態のものと歩容生成装置１００の処理（図６５のＳ３５３６の処理）のみが相違するものであり、フルモデルフィードバック補正型である。また、逆動力学フルモデル（逆フルモデル）を用いる手法で、かつ単純化モデル歩容の入力を補正しない手法であり、かつ摂動モデルを用いる手法である。

【０８８４】

図７４は、この第５実施形態に係る装置の動作、具体的には、図６５のフローチャートのＳ３５３６の歩容の修正手法を説明する機能ブロック図である。ただし、図７４の単純化モデル２００は、前記第４実施形態と同様、単に動力学モデルだけでなく、図６５のＳ３５１０からＳ３５３２の処理、すなわち単純化モデル歩容瞬時値の算出（決定）処理を表す。したがって、図７４において、単純化モデル２００から先の部分がＳ３５３６の処理に相当する。なお、図７４の機能部分のうち、第４実施形態に係る図６６と同一の機能分については、図６６と同一の参照符号を用い、詳細な説明を省略する。

【０８８５】

Ｓ３５３６の処理以外の構成は第４実施形態と同じであるので説明を省略し、以下に図７４を用いてＳ３５３６の処理を詳細に説明する。

【０８８６】

Ｓ３５３６では、まず、前述のごとく図６５のＳ３５３２で求めた単純化モデル歩容の目標上体水平位置の瞬時値（現在時刻ｔの制御周期で求めた仮瞬時値）に、前回制御周期（時刻ｔ－Δｔ）で後述のごとく算出した補正用摂動モデル上体水平位置Xcを演算部２０５により加えることにより、最終的な目標上体水平位置（補正目標上体水平位置）が求められる。また、図６５のＳ３５３２で求めた単純化モデル歩容の目標上体姿勢傾斜角の瞬時値（現在時刻ｔの制御周期で求めた仮瞬時値）に、前回制御周期（時刻ｔ－Δｔ）で算出した後述する補正用摂動モデル上体姿勢傾斜角θcを演算部２０４により加えることにより、最終的な目標上体姿勢傾斜角（補正目標上体姿勢傾斜角）が求められる。また、図６５のＳ３５３２で求めた単純化モデル歩容の目標逆位相腕振り角の瞬時値（現在時刻ｔの制御周期で求めた仮瞬時値）に、前回制御周期（時刻ｔ－Δｔ）で算出した後述する補正用摂動モデル逆位相腕振り角θcaを演算部により加えることにより、最終的な目標逆位相腕振り角（補正目標逆位相腕振り角）が求められる。

【０８８７】

そして、これらの補正目標上体水平位置、補正目標上体姿勢傾斜角および補正目標逆位相腕振り角が、それぞれ上体水平位置、上体姿勢傾斜角および逆位相腕振り角の最終的な目標瞬時値として出力される。

【０８８８】

すなわち、前記式ｈ２４、式ｈ２５、式ｈ３７により、補正目標上体水平位置と補正目標上体姿勢傾斜角と補正目標逆位相腕振り角とが求められる。

【０８８９】

次いで、上記の如く単純化モデル歩容を補正して得られた目標上体水平位置（補正目標上体水平位置）、目標上体姿勢傾斜角（補正目標上体姿勢傾斜角）、目標逆位相腕振り角（補正目標逆位相腕振り角）、および前述のごとく得られた単純化モデル歩容の目標重心位置、目標足平位置姿勢、目標腕姿勢などの運動変数の瞬時値と目標ＺＭＰの瞬時値とを、前記逆動力学フルモデル２０１に入力し、

その入力された運動変数で表される運動に釣り合う（すなわち運動によって逆フルモデル２０１が発生する）床反力水平成分と目標ＺＭＰまわりの床反力モーメント（水平成分および鉛直成分）とが算出される。従って、本実施形態では、逆フルモデル２０１には、単純化モデル上体水平位置、上体姿勢傾斜角、逆位相腕振り角に加えて、補正用摂動モデル上体水平位置Xcと補正用摂動モデル上体姿勢傾斜角θcと補正用摂動モデル逆位相腕振り角θcaとが追加的に入力される。以降、第４実施形態と同様、逆フルモデル２０１により算出された床反力水平成分、床反力モーメント水平成分、床反力モーメント鉛直成分、をそれぞれフルモデル床反力水平成分Ffullxy、フルモデル床反力モーメント水平成分Mfullxy、フルモデル床反力モーメント鉛直成分Mfullzと呼ぶ。

【０８９０】

フルモデル床反力水平成分Ffullは、補正目標床反力水平成分（現在時刻ｔにおける床反力水平成分の最終的な目標瞬時値）として出力される。

【０８９１】

すなわち、以下の式により、補正目標床反力水平成分が決定されて出力される。

【０８９２】

補正目標床反力水平成分 ＝ フルモデル床反力水平成分Ffull

…式ｈ４８

【０８９３】

以上の処理からわかるように、本実施形態では、フルモデル歩容は、単純化モデル歩容に上体水平位置補正用摂動モデル２０２の挙動と上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル２０３の挙動と逆位相腕振り角補正用摂動モデル２３１の挙動とを加えたものになる。さらに、上体傾斜運動モードが発生する床反力水平成分および逆位相腕振り運動モードが発生する床反力水平成分がいずれも０であることを考慮すると、次式が成立する。ただし、単純化モデル床反力水平成分は、単純化モデル歩容の運動によって発生する床反力を逆フルモデル２０１を用いて算出したものの並進力水平成分である。

【０８９４】

フルモデル床反力水平成分Ffull
= 単純化モデル床反力水平成分
+ 上体水平位置補正用摂動モデル床反力水平成分Fp

…式ｈ５１

【０８９５】

次いで、上体水平位置補正用摂動モデル制御則２０６により、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mpfdmdが決定される。本実施形態における上体水平位置補正用摂動モデル制御則２０６は、特願２００１－１３３６２１号で本願出願人が提案した如く、設定される。例えば、次式のように該制御則２０６が決定される。

【０８９６】

上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mpfdmd
= Kpg*重心差 + Kvg * 補正用摂動モデル上体水平速度dXc/dt

…式ｈ５２

ただし、重心差は、次式で求められる。

【０８９７】

重心差 = フルモデル重心水平位置－単純化モデル重心水平位置

…式ｈ５３

【０８９８】

式ｈ５２におけるKpg、Kvgはフィードバック制御のゲインであり、フルモデル重心水平位置、単純化モデル重心水平位置および補正用摂動モデル上体水平速度dXc/dtは、それぞれ、前回（時刻ｔ－Δｔ）に後述のごとく算出したフルモデル歩容瞬時値の重心水平位置、単純化モデル歩容瞬時値の重心水平位置（単純化モデル歩容の瞬間姿勢を基に単純化モデルを用いて計算される重心水平位置XGs）、および補正用摂動モデル上体水平速度dXc/dtである。

【０８９９】

即ち、フルモデル重心水平位置から単純化モデル重心水平位置を減算して得た重心差と摂動モデルの状態量のひとつである摂動モデル上体速度とに基づいて摂動モデル制御用フィードバック量（操作量）を演算するようにした。かかる摂動

モデル制御則により、前記重心差の時間的平均値を、ほぼ０に制御することができる。

【０９００】

次いで、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル制御則２０７により、上体姿勢補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mrfdmdが決定される。これは、第４実施形態と同様の制御則を用いれば良い。従って、該制御則２０７としては、例えば前記式ｈ１１が用いられる。

【０９０１】

次いで、無制限時補正目標床反力モーメントMinがMin演算部２０９により求められる（推定される）。無制限時補正目標床反力モーメントMinは、第４実施形態と同様、前記制約（ＺＭＰ制約条件および床反力水平成分制約条件）を無視して、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpfを上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mpfdmdに一致させ、かつ、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル安定化モーメントMrfを、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mrfdmdに一致させると共に、目標ＺＭＰまわりの目標床反力モーメントとしてのコンプライアンス制御用目標床反力モーメントを補償全床反力モーメント水平成分MdmdxyとMpfとMrfとの総和に一致させた場合に、目標ＺＭＰまわりに発生する床反力モーメントである。

【０９０２】

無制限時補正目標床反力モーメント水平成分Minは、第４実施形態と同様、前記式ｈ１３の演算によって求められる。すなわち、無制限時補正目標床反力モーメント水平成分Minは、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mpfdmdと上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mrfdmdと補償全床反力モーメント水平成分Mdmdxyとを加算することにより得られる。

【０９０３】

さらに、Fin演算部２１０により、無制限時補正目標床反力水平成分Finも求められる（推定される）。無制限時補正目標床反力水平成分Finは、第４実施形態と同様、前記制約（ＺＭＰ制約条件および床反力水平成分制約条件）を無視して、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpfを上体水平位置補正用摂

動モデル安定化モーメント要求値Mpfdmdに一致させ、かつ、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル安定化モーメントMrfを、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mrfdmdに一致させると共に、コンプライアンス制御用目標床反力モーメントを補償全床反力モーメントMdmdとMpfとMrfとの総和に一致させたとした場合に、逆フルモデル２０１が発生する床反力水平成分（Ffullに相当）である。

【０９０４】

無制限時補正目標床反力水平成分Finは、第３実施形態とは異なり、次式により求められる。

【０９０５】

無制限時補正目標床反力水平成分Fin

＝フルモデル床反力水平成分Ffull

＋1/h

＊（上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mpfdmd

－上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpf）

…式h５４

【０９０６】

ただし、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpfは前回値（時刻ｔ－Δｔでの値）が用いられる。すなわち、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mpfdmdと上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpfの差を求め、上体水平位置補正用摂動モデルの入力を前記差だけ増加させることに起因するフルモデル床反力水平成分Ffullの増加量を、前記差を上体並進モード床反力比率ｈで割ることにより推定する。さらに、これにフルモデル床反力水平成分Ffullを加えることにより、無制限時補正目標床反力水平成分Finが推定される。

【０９０７】

次いで、第４実施形態と同様の制限手段（制限処理部２１１）によって、無制限時補正目標床反力モーメント水平成分Minと無制限時補正目標床反力水平成分Finとから、前記制約（ＺＭＰ制約条件および床反力水平成分制約条件）を満足す

るように、これらに制限を加えた値である（目標ＺＭＰまわりの）制限補正目標床反力モーメント水平成分Mltdと制限補正目標床反力水平成分Fltdとが決定される。この処理手法は、第４実施形態と同一である。

【０９０８】

本実施形態においても、コンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分は制限補正目標床反力モーメント水平成分Mltdに一致され、また、補正目標床反力水平成分は制限補正目標床反力水平成分Fltdにほぼ一致するので、上記のごとく制限補正目標床反力モーメント水平成分Mltdと制限補正目標床反力水平成分Fltdを決定することによって、コンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分および補正目標床反力水平成分は、それぞれＺＭＰ制約条件および床反力水平成分制約条件をほぼ満足する。

【０９０９】

次いで、Mpf演算部２１５によって、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpfが求められる。さらに詳細には、制限補正目標床反力水平成分Fltdからフルモデル床反力水平成分Ffullを減じた値にゲインKcを乗じたものを積分器２１５ａにて積分し、さらに得られた積分値に上体並進モード床反力比率ｈを乗じることにより、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpfが求められる。すなわち、次式により、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpfが得られる。

【０９１０】

$$Mpf = h * \int Kc(Fltd - Ffull)dt \qquad \cdots式h55$$

【０９１１】

次いで、Mrf演算部２１４によって、制限補正目標床反力モーメント水平成分Mltdから上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpfと補償全床反力モーメント水平成分Mdmdxyとを減じることにより、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル安定化モーメントMrfが求められる。すなわち、前記式ｈ２１により、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル安定化モーメントMrfが得られる。

【０９１２】

さらに、前記式ｈ２３により、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル床反力モーメ

ントMrが決定される。すなわち、Mrf演算部２１４の出力である上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル安定化モーメントMrfがそのまま上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル床反力モーメントMrとして決定される。

【０９１３】

次いで、次式で定義されるフルモデル床反力モーメント誤差MerrがMerr演算部２１６により算出される。

【０９１４】

フルモデル床反力モーメント誤差Merr

＝フルモデル床反力モーメント水平成分Mfullxy

－制限補正目標床反力モーメント水平成分Mltd

…式h５６

【０９１５】

次いで、Mp演算部２１７により、次式に従って、上体水平位置補正用摂動モデル床反力モーメントMpが求められる。

【０９１６】

$$Mp = Mpf - \int Km*Merr\ dt \qquad \cdots式h５７$$

【０９１７】

すなわち、フルモデル床反力モーメント誤差Merrに積分ゲインKmを乗じた値を積分器２１７ａにて積分すると共に、その積分値の符号を反転する。さらに、該積分器２１７ａの出力を上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpfに加えることにより、上体水平位置補正用摂動モデル床反力モーメントMpが求められる。

【０９１８】

次いで、上体水平位置補正用摂動モデル床反力モーメントMpを上体位置補正用摂動モデル２０２に入力して、入力された床反力モーメント水平成分に釣り合う補正用摂動モデル上体位置Xcが算出される。

【０９１９】

また、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル床反力モーメントMrを上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル２０３に入力して、入力された床反力モーメント水平成分に釣

り合う補正用摂動モデル上体姿勢傾斜角θcが算出される。

【０９２０】

Ｓ３５３６における以上までの処理は、ＰＣＴ／ＪＰ０３／００４３５の通りである。さらに、補正用摂動モデル逆位相腕振り角モーメント決定部において、補正用摂動モデル逆位相腕振り角モーメントMaが決定される。

【０９２１】

さらに補正用摂動モデル逆位相腕振り角モーメントMaが逆位相腕振り角補正用摂動モデルに入力されて、補正用摂動モデル逆位相腕振り角θcaが決定される。

【０９２２】

以下に、補正用摂動モデル逆位相腕振り角モーメント決定部の動作についてその機能ブロック図である図８０を用いて詳細を説明する。

【０９２３】

まず、逆位相腕振り角補正用摂動モデル制御則により、逆位相腕振り角補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mafdmdが決定される。これは、第４実施形態と同様の制御則を用いれば良い。従って、該制御則としては、例えば前記式ｈ３０が用いられる。

【０９２４】

次いで、フルモデル床反力モーメント鉛直成分Mfullzと補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdzと逆位相腕振り角補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mafdmdとの和から逆位相腕振り補正用摂動モデルモーメントMaの前回値（後述する積分器の出力）を減じることによって無制限時補正目標床反力モーメント鉛直成分Minzを求める。次いで、無制限時補正目標床反力モーメント鉛直成分Minzを床反力鉛直成分モーメント許容範囲を越えないように制限を加えることにより（すなわち図示する飽和特性関数に通して）、制限時補正目標床反力モーメント鉛直成分M ltdzを求める。次いで、補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdzと逆位相腕振り角補正用摂動モデル安定化モーメント要求値Mafdmdとの和を制限時補正目標床反力モーメント鉛直成分Mltdzから減じた値を積分ゲインKaで積分することにより逆位相腕振り補正用摂動モデルモーメントMaを求めて、これを出力する。また、制限時補正目標床反力モーメント鉛直成分Mltdzをコンプライアンス制御

用目標床反力モーメント鉛直成分として出力する。
以上のごとく、補正用摂動モデル逆位相腕振り角モーメント決定部において、逆位相腕振り補正用摂動モデルモーメントMaとコンプライアンス制御用目標床反力モーメント鉛直成分が決定される。

【０９２５】

求めた補正用摂動モデル上体位置Xc、補正用摂動モデル上体姿勢傾斜角θc、補正用摂動モデル逆位相腕振り角θca、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpfおよび逆位相腕振り補正用摂動モデルモーメントMaは、前述のごとく次回制御周期（時刻ｔ＋Δｔ）において、前回値として用いられる。

【０９２６】

残余の構成および処理は、第４実施形態と同一である。この第５実施形態によれば、第４実施形態と同様の作用効果を奏することができる。

【０９２７】

次に、本発明の第６実施形態を図７５および図７６を参照して説明する。第６実施形態は、前記第４および第５実施形態で用いた逆動力学フルモデル（逆フルモデル）２０１に代えて、順動力学モデル（より正確には擬似順動力学モデル）を用いて歩容を修正しつつ生成する手法である。

【０９２８】

図７５は、この第６実施形態に係る装置の動作を説明する機能ブロック図である。同図７５に示すように、本実施形態では、擬似順フルモデル（擬似順動力学フルモデル）２２２を備えている。

【０９２９】

この擬似順フルモデル２２２は、上体水平位置安定化モーメント要求値M pfdmd、上体姿勢傾斜角安定化モーメント要求値Mrfdmd、逆位相腕振り角安定化モーメント要求値Mafdmd、目標ＺＭＰ、目標床反力鉛直成分、補償全床反力モーメント水平成分Mdmdxyおよび補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdzと、目標足平位置姿勢および目標腕姿勢など上体３を除く部位の運動状態とを入力として、目標上体鉛直位置、目標上体水平位置、目標上体姿勢傾斜角、目標逆位相腕振り角、目標ＺＭＰまわりの目標床反力モーメントとしてのコンプライアンス制御用目標

床反力モーメント（水平成分および鉛直成分）、および目標床反力水平成分を出力するモデルである。なお、擬似順フルモデル２２２の目標値入力は、前記図６４を参照して説明した如く、歩容パラメータ決定部１００ａで決定される歩容パラメータを基に、目標瞬時値発生部１００ｂにより生成される。

【０９３０】

上記擬似順フルモデル２２２は、具体的には図７６の機能ブロック図で表される。なお、この機能ブロック図で前記第４実施形態の図７４と同一機能部分については、図７４と同一の参照符号を用いている。

【０９３１】

ここで、同図７６の単純化モデル２００は、単に動力学モデルだけでなく、前述の図６５のＳ３５１０からＳ３５３２の処理、すなわち単純化モデル歩容瞬時値の算出（決定）処理を表す。また、Ｓ３５３２の今回歩容瞬時値（単純化モデル歩容瞬時値）の算出（決定）処理においては、前記第４実施形態で説明したように目標ＺＭＰまわりのモデル操作床反力モーメント水平成分を０として歩容の瞬時値を生成した上で、さらに第４実施形態において述べた上体姿勢傾斜角補正用摂動モデルモーメントMrに相当する上体姿勢傾斜角補正用摂動モデルモーメントMr（前回値）を発生する上体傾斜モードの摂動運動と第４実施形態において述べた上体水平位置補正用摂動モデルモーメントMpに相当する単純化モデル上体水平位置補正用モーメントMp（前回値）を発生する上体並進モードの摂動運動と第４実施形態において述べた逆位相腕振り角補正用摂動モデルモーメントMaに相当する逆位相腕振り角補正用摂動モデルモーメントMa（前回値）を発生する逆位相腕振りモードの摂動運動を付加する。これにより、単純化モデル２００が出力する歩容の瞬時値を補正する。

【０９３２】

より具体的に説明すると、本実施形態における図６５のＳ３５３２の処理においては、そのサブルーチン処理である図５７のＳ３４１４とＳ３４１６において、単純化モデル２００で求めた上体水平加速度に、前記式０３ｙの右辺第２項をMp（前回値）に等しいとした式、すなわちMp＝mb*(Zb－Zzmp)*(d2Xb/dt2)という式に基づいて求められる上体水平加速度(d2Xb/dt2)を摂動分として加えてなる上

体水平加速度を今回歩容の初期から現在時刻ｔまで２階積分することにより、現在時刻ｔにおける上体水平位置の瞬時値が求められる。また、図５７のＳ３４１４において、単純化モデル２００で求めた上体姿勢傾斜角加速度に、前記式０３yの右辺第７項をMr（前回値）に等しいとした式、すなわち、Mr＝J*d2θby/dt2という式に基づいて求められる上体姿勢傾斜角加速度（d2θby/dt2）を摂動分として加えてなる上体姿勢傾斜角加速度を今回歩容の初期から現在時刻ｔまで２階積分することにより、現在時刻ｔにおける上体姿勢傾斜角の瞬時値が求められる。また、図５７のＳ３４１４において、単純化モデル２００で求めた逆位相腕振り角加速度に、前記式０３zの右辺第８項をMa（前回値）に等しいとした式、すなわち、Ma＝Jaz*d2θaz/dt2という式に基づいて求められる逆位相腕振り角加速度（d2θaz /dt2)を摂動分として加えてなる逆位相腕振り角加速度を今回歩容の初期から現在時刻ｔまで２階積分することにより、現在時刻ｔにおける逆位相腕振り角の瞬時値が求められる。

【０９３３】

補足すると、上体水平位置と上体姿勢傾斜角については、ラテラルプレーン上の瞬時値について述べたが、サジタルプレーン上の瞬時値も同様に求める。

【０９３４】

図７６において、単純化モデル２００から先の部分がＳ３５３６の処理に相当する処理を実行する部分である。以下に図７６を用いてＳ３５３６の処理を詳細に説明する。

〖０９３５〗

Ｓ３５３６では、まず、Ｓ３０３２において上記の如く単純化モデル上体水平位置補正用モーメントMp（詳しくは時刻（ｔ－Δｔ）の制御周期での前回値）を基に補正された単純化モデル水平上体位置が目標上体水平位置（時刻ｔでの上体水平位置の最終的な目標瞬時値）として出力される。また、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデルモーメントMr（詳しくは時刻（ｔ－Δｔ）の制御周期での前回値）を基に補正された単純化モデル上体姿勢傾斜角が目標上体姿勢傾斜角（時刻ｔでの上体姿勢傾斜角の最終的な目標瞬時値）として出力される。また、逆位相腕振り角補正用摂動モデルモーメントMa（詳しくは時刻（ｔ－Δｔ）の制御周期での

前回値）を基に補正された単純化モデル逆位相腕振り角が目標逆位相腕振り角（時刻ｔでの逆位相腕振り角の最終的な目標瞬時値）として出力される。

【０９３６】

すなわち、式ｈ１００、式ｈ１０１、式ｈ１０２により、最終的な目標上体水平位置と目標上体姿勢傾斜角とが決定される。

【０９３７】

目標上体水平位置 = 単純化モデル上体水平位置　　…式ｈ１００

【０９３８】

目標上体姿勢傾斜角 = 単純化モデル上体姿勢傾斜角　…式ｈ１０１

【０９３９】

目標逆位相腕振り角 = 単純化モデル逆位相腕振り角　…式ｈ１０２

【０９４０】

次いで、目標上体水平位置（すなわち単純化モデル上体水平位置）、目標上体姿勢傾斜角（すなわち単純化モデル上体姿勢傾斜角）、目標逆位相腕振り角（すなわち単純化モデル逆位相腕振り角）および前述のごとく得られた単純化モデル歩容の目標全体重心位置、目標足平位置姿勢、目標腕姿勢などの運動変数の瞬時値と目標ＺＭＰの瞬時値とを、前記逆動力学フルモデル（逆フルモデル）２０１に入力し、入力された運動変数で表される運動に釣り合う（すなわち運動によって逆フルモデル２０１が発生する）床反力水平成分と目標ＺＭＰまわりの床反力モーメント（水平成分および鉛直成分）とが算出される。以降、第５実施形態と同様、これらの算出された床反力水平成分、床反力モーメント水平成分および床反力モーメント鉛直成分をそれぞれフルモデル床反力水平成分Ffull、フルモデル床反力モーメント水平成分Mfullxy、床反力モーメント鉛直成分Mfullzと呼ぶ。

【０９４１】

第５実施形態と同様、フルモデル床反力水平成分Ffullは、目標床反力水平成分（時刻ｔでの床反力水平成分の最終的な目標瞬時値）として出力される。

【０９４２】

本実施形態では、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデルと上体水平位置補正用摂動

モデルと逆位相腕振り角補正用摂動モデルとを備えないので、上体水平位置補正用摂動モデル制御則と上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル制御則と逆位相腕振り角補正用摂動モデル制御則とに相当する処理は、後述するように、第５実施形態とは異なる。

【０９４３】

このことを除けば、上記処理以降、単純化モデル上体姿勢傾斜角補正用モーメントMrと単純化モデル上体水平位置補正用モーメントMpと単純化モデル逆位相腕振り角補正用モーメントMaとを決定するまでは、第５実施形態において、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデルモーメントMrと上体水平位置補正用摂動モデルモーメントMpと単純化モデル逆位相腕振り角補正用モーメントMaとを決定する処理と同一の処理が実行される。すなわち、Min演算部２０９、Fin演算部２１０、制限処理部２１１（制限手段）、Mpf演算部２１５、Merr演算部２１６、Mrf演算部２１７（＝Mr演算部）、Mp演算部２１４、及びMa演算部の処理は、前記第５実施形態と同一である。なお、本実施形態では、Mr、MpおよびMaは、それぞれ第５実施形態における上体姿勢傾斜角補正用摂動モデルモーメントMrと上体水平位置補正用摂動モデルモーメントMpと逆位相腕振り角補正用摂動モデルモーメントMaとにそれぞれ対応するものであるが、第５実施形態のように摂動モデルに入力するものではなく、単純化モデル２００に入力するものである。このため、Mr、MpおよびMaの名称を本実施形態では、単純化モデル上体姿勢傾斜角補正用モーメント、単純化モデル上体水平位置補正用モーメント、単純化モデル逆位相腕振り角補正用モーメントと称している。

〖０９４４〗

上記のごとく求められた上体姿勢傾斜角補正用摂動モデルモーメントMrと単純化モデル上体水平位置補正用モーメントMpと単純化モデル逆位相腕振り角補正用モーメントMaとは、前述のごとく次回制御周期（時刻ｔ＋Δｔ）に、単純化モデル歩容瞬時値の決定（生成）時に前回値として用いられる。

【０９４５】

残余の構成及び処理は、第５実施形態と同一である。

【０９４６】

以下に、上体姿勢傾斜角安定化モーメント要求値Mrfdmdと上体水平位置安定化モーメント要求値Mpfdmdと逆位相腕振り角安定化モーメント要求値Mafdmdとの決定処理について図７５を参照して説明する。

【０９４７】

図７５に示すように、本実施形態では、前述したように擬似順フルモデル２２２に備える単純化モデル２００とは別の単純化モデル２２３を備えている。この単純化モデル２２３は、本実施形態でのその機能は、前述した単純化モデル２００と同一であり、単に動力学モデルだけでなく、前述の図６５のＳ３５１０からＳ３５３２の処理、すなわち単純化モデル歩容瞬時値の算出（決定）処理を表すものである。なお、単純化モデル２２３は、実際上は、上体姿勢傾斜角の瞬時値と、上体水平位置の瞬時値とを決定できればよく、必ずしも図６０のＳ３５１０からＳ３５３２の処理の全てを行なう必要はない。

【０９４８】

以下に図７５を用いて本実施形態におけるMpfdmdおよびMrfdmdの決定処理を詳細に説明する。

【０９４９】

本実施形態においては、単純化モデル２２３を用いて生成される歩容と前記擬似順動力学フルモデル２２２を用いて前述の通り算出される歩容との間の上体水平位置、上体姿勢傾斜角および逆位相腕振り角のそれぞれの差が演算部２２４，２２５、２２８により求められる。そして、これらの差に応じて、これらの差が０に収束するようにＰＩＤなどのフィードバック制御則によって上体水平位置安定化モーメント要求値Mpfdmd、上体姿勢傾斜角安定化モーメント要求値Mrfdmdおよび逆位相腕振り角安定化モーメント要求値Mafdmdが決定される。すなわち、単純化モデル２２３による上体水平位置と擬似順フルモデル２２２による上体水平位置との差に応じて、フィードバック制御則からなる上体水平位置安定化制御則２２６によって、Mpfdmdが求められる。また、単純化モデル２２３による上体姿勢傾斜角と擬似順フルモデル２２２による上体姿勢傾斜角との差に応じて、フィードバック制御則からなる上体姿勢傾斜角安定化制御則２２７によって、Mrfdmdが求められる。また、単純化モデル２２３による逆位相腕振り角と擬似順フルモ

デル２２２による逆位相腕振り角との差に応じて、フィードバック制御則からなる逆位相腕振り角安定化制御則によって、Mafdmdが求められる。そして、この決定されたMpfdmd、Mrfdmd及びMafdmdが、前記擬似順動力学フルモデルにフィードバックされて入力される。

【０９５０】

なお、本実施形態では、歩容生成装置１００は、前記擬似順動力学フルモデル２２２への入力の一部である目標ＺＭＰ、目標床反力鉛直成分、目標足平位置姿勢および目標腕姿勢などと、前記擬似順動力学フルモデル２２２からの出力である目標上体鉛直位置、目標上体水平位置、目標上体姿勢傾斜角、目標逆位相腕振り角、目標床反力水平成分およびコンプライアンス制御用目標床反力モーメント（水平成分および鉛直成分）を最終的な今回歩容の目標瞬時値として出力する。

【０９５１】

以上説明した第６実施形態によれば、前記第５実施形態と同様の作用効果を奏することができる。

【０９５２】

なお、前記第５実施形態では、上体姿勢傾斜角安定モーメント要求値Mrfdmd、上体水平位置安定化モーメント要求値Mpfdmdおよび逆位相腕振り角安定化モーメント要求値Mafdmdを擬似順フルモデル２２２のみに入力するようにしたが、Mrfdmd、Mpfdmdおよび Mafdmdを単純化モデル２２３に入力するようにしてもよく、あるいは、単純化モデル２２３と擬似順フルモデル２２２とに分配・供給するようにしてもよい。

【０９５３】

次に、本発明の第７実施形態を図７７を参照して説明する。図７７は、この発明の第７実施形態に係る装置の動作、具体的には、図６５のフローチャートのＳ３５３６の歩容の修正手法を説明する機能ブロック図である。なお、図７７では、第４実施形態もしくは第５実施形態と同一機能部分については、図６６又は図７４と同一の参照符号を用いる。

【０９５４】

第７実施形態においては、上体水平位置補正用摂動モデル２０２と上体姿勢傾

斜角補正用摂動モデル２０３と逆位相腕振り角補正用摂動モデル２３１とを備える。また、３つの分配器２２０，２２１，２４１を備える。

【０９５５】

分配器２２０，２２１，２４１を定義すると、いずれも、１入力２出力の伝達ブロックであり、入力に応じて、一方の出力を決定し（例えば、入力に周波数特性、不感帯特性、飽和特性などの信号処理を行って一方の出力を決定し）、２つの出力の和が入力に一致またはほぼ一致するように、他方の出力を決定する伝達ブロックである。

【０９５６】

分配器２２０には、制限補正目標床反力モーメント水平成分Mltdxyから、上体水平位置補正用摂動モデル安定化モーメントMpfと補償全床反力モーメント水平成分Mdmdxyとを減じたもの（Mr演算部２１４の出力）である上体姿勢傾斜角補正用モーメントMrが入力され、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル２０３に入力する上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル入力Mriと、単純化モデル２００に入力する単純化モデル上体姿勢傾斜角補正用モーメントMrsとに分配される。この時、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル入力Mriと単純化モデル上体姿勢傾斜角補正用モーメントMrsとの和が上体姿勢傾斜角補正用モーメントMrに一致するように、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル入力Mriと単純化モデル上体姿勢傾斜角補正用モーメントMrsとが決定される（出力される）。

【０９５７】

より具体的には、上体姿勢傾斜角補正用モーメントMrに応じて、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル入力Mriが決定される。例えば、上体姿勢傾斜角補正用モーメントMrを不感帯特性、飽和特性、あるいは周波数特性を持つ信号処理を通して、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル入力Mriが決定される。また、上体姿勢傾斜角補正用モーメントMrから上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル入力Mriを差し引いたものが、単純化モデル上体姿勢傾斜角補正用モーメントMrsとして決定される。さらに具体的に説明すると、本実施形態では、分配器２２０は、例えば、入力（上体姿勢傾斜角補正用モーメントMr＝Mltd－Mpf－Mdmdxy）をローパスフィル

タに通してなる低周波成分（直流分）を単純化モデル上体姿勢傾斜角補正用モーメントMrsとして出力すると共に、その入力（上体姿勢傾斜角補正用モーメントMr）からMrsを差し引いた成分が上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル入力Mriとして出力される。この場合、低周波成分（直流分）である単純化モデル上体姿勢傾斜角補正用モーメントMrsに関しては、不感帯特性を持たせておき、上記ローパスフィルタの出力が、ある所定値を中心とする所定範囲内に存在する状態では、Mrsが該所定値（例えば０）に維持されるようにしておく。

【０９５８】

分配器２２０の出力である上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル入力Mriは、前記上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル２０３に入力され、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル２０３により補正用摂動モデル上体姿勢傾斜角θcが決定される。

【０９５９】

分配器２２０のもうひとつの出力である単純化モデル上体姿勢傾斜角補正用モーメントMrsは単純化モデル２００に入力される。これは、前記第６実施形態における図７６において、単純化モデル上体姿勢傾斜角補正用モーメントMrを単純化モデル２００に入力することに相当するものである。

【０９６０】

分配器２２１においては、フルモデル床反力モーメント水平成分誤差Merrにゲイン Kmを乗じた値を積分器２１７ａによって積分し、さらに符号を反転した値を入力とする。

【０９６１】

分配器２２１の入力は、分配器２２０と同様、単純化モデル２００に入力する単純化モデル上体水平位置補正用モーメントMpsと、上体水平位置補正用摂動モデル２０２に入力する誤差補正モーメントMeとに分配される。より具体的には、積分器２１７ａの出力に応じて、誤差補正モーメントMeが決定される。例えば、積分器２１７ａの出力（分配器２２０の入力）を不感帯特性、飽和特性、あるいは周波数特性を持つ信号処理を通して、誤差補正モーメントMeが決定される。また、積分器２１７ａの出力から、誤差補正モーメントMeを差し引いたものが、単純化モデル上体姿勢傾斜角補正用モーメントMrsとして決定される。さらに具体

的に説明すると、本実施形態では、分配器２２１は、例えば、入力（積分器２１７ａの出力）をローパスフィルタに通してなる低周波成分（直流分）を単純化モデル上体水平位置補正用モーメントMpsとして出力すると共に、その入力（積分器２１７ａの出力）からMpsを差し引いた成分を誤差補正モーメントMeとして出力する。この場合、低周波成分（直流分）である単純化モデル上体水平位置補正用モーメントMpsに関しては、不感帯特性を持たせておき、上記ローパスフィルタの出力が、ある所定値を中心とする所定範囲内に存在する状態では、Mpsが該所定値（例えば０）に維持されるようにしておく。

【０９６２】

分配器２２１の出力である誤差補正モーメントMeに上体水平位置補正用モデル安定化モーメントMpfをMp演算部２１７ｂで加算することにより上体水平位置補正用摂動モデルモーメントMpが求められる。そして、上体水平位置補正用摂動モデルモーメントMpは、上体水平位置補正用摂動モデル２０２に入力され、上体水平位置補正用摂動モデル２０２により補正用摂動モデル上体水平位置Xcが決定される。

【０９６３】

分配器２２１のもうひとつの出力である単純化モデル上体水平位置補正用モーメントMpsは単純化モデル２００に入力される。これは、前記第５実施形態の図７６において、単純化モデル上体水平位置補正用モーメントMpを単純化モデル２００に入力することに相当するものである。

【０９６４】

逆位腕振り角補正用摂動モデルモーメント決定部２４０は、第５の実施形態において用いた図８０に示す補正用摂動モデル逆位相腕振り角決定部と同一である。ただし、図８０の出力である逆位腕振り角補正用摂動モデルモーメントMaは、逆位腕振り角補正用摂動モデルに直接入力されず、分配器２４１に入力されるので、逆位腕振り角補正用摂動モデルモーメントMaは、名称を改めて逆位腕振り角補正用モデルモーメントMaと呼ぶ。

【０９６５】

分配器２４１においては、逆位腕振り角補正用摂動モデルモーメント決定部２

４０が決定した逆位腕振り角補正用モデルモーメントMaを入力とする。

【０９６６】

分配器２４１の入力は、分配器２２０と同様、単純化モデル２００に入力する単純化モデル逆位相腕振り角補正用モーメントMasと、逆位相腕振り角補正用摂動モデル２３１に入力する誤差補正モーメントMaiとに分配される。
この時、逆位相腕振り角補正用摂動モデル入力Maiと単純化モデル逆位相腕振り角補正用モーメントMasとの和が逆位腕振り角補正用モデルモーメントMaに一致するように、逆位相腕振り角補正用摂動モデル入力Maiと単純化モデル逆位相腕振り角補正用モーメントMasとが決定される（出力される）。

【０９６７】

より具体的には、逆位腕振り角補正用モデルモーメントMaに応じて、逆位相腕振り角補正用摂動モデル入力Maiが決定される。例えば、逆位腕振り角補正用モデルモーメントMaを不感帯特性、飽和特性、あるいは周波数特性を持つ信号処理を通して、逆位相腕振り角補正用摂動モデル入力Maiが決定される。また、逆位腕振り角補正用モデルモーメントMaから逆位相腕振り角補正用摂動モデル入力Maiを差し引いたものが、単純化モデル逆位相腕振り角補正用モーメントMasとして決定される。さらに具体的に説明すると、本実施形態では、分配器２４１は、例えば、入力（逆位腕振り角補正用モデルモーメントMa）をローパスフィルタに通してなる低周波成分（直流分）を単純化モデル逆位相腕振り角補正用モーメントMasとして出力すると共に、その入力（逆位腕振り角補正用モデルモーメントMa）からMasを差し引いた成分が逆位相腕振り角補正用摂動モデル入力Maiとして出力される。この場合、低周波成分（直流分）である単純化モデル逆位相腕振り角補正用モーメントMasに関しては、不感帯特性を持たせておき、上記ローパスフィルタの出力が、ある所定値を中心とする所定範囲内に存在する状態では、Masが該所定値（例えば０）に維持されるようにしておく。

【０９６８】

分配器２４１の出力である逆位相腕振り角補正用摂動モデル入力Maiは、前記逆位相腕振り角補正用摂動モデル２３１に入力され、逆位相腕振り角補正用摂動モデル２３１により補正用摂動モデル逆位相腕振り角θcaが決定される。

【０９６９】

分配器２４１のもうひとつの出力である単純化モデル逆位相腕振り角補正用モーメントMasは単純化モデル２００に入力される。これは、前記第６実施形態における図７６において、単純化モデル逆位相腕振り角補正用モーメントMaを単純化モデル２００に入力することに相当するものである。

【０９７０】

単純化モデル２００は、前記第６実施例と同様、単純化モデル歩容瞬時値の算出（決定）処理において、目標ＺＭＰまわりに床反力モーメント水平成分が発生しないように（モデル操作床反力モーメントを０として）歩容の瞬時値を生成した上で、単純化モデル上体姿勢傾斜角補正用モーメントMrs（前回値）を発生する上体傾斜モードの摂動運動を付加し、単純化モデル上体水平位置補正用モーメントMps（前回値）を発生する上体並進モードの摂動運動を付加し、さらに単純化モデル逆位相腕振り角補正用モーメントMasを発生する逆位相腕振りモードの摂動運動を付加して、歩容の瞬時値を補正する。

【０９７１】

なお、本実施形態では、図６５のＳ３５２８の処理の一部である図３２のＳ８００において、前回歩容の終端状態として、前回歩容終端における単純化モデルの状態量を用いる。従って、分配器２２０，２２１，２４１から単純化モデルに出力されるMrs、Mps及びMasが０以外の値となる時があれば、単純化モデルは当初の挙動からずれるので、これに応じてＳ３５２８において、歩容パラメータが適宜修正される。また、前記不感帯の領域を大きく設定すると、Mrs、Mps及びMasの絶対値が小さくなるので、歩容パラメータの修正量の絶対値も小さくなる。

【０９７２】

その他の構成及び処理は、第５実施例と同一である。より詳しくは、演算部２０４，２０５，目標上体水平位置を演算する演算部、Merr演算部２１６、上体姿勢傾斜角補正用摂動モデル制御則２０７、上体水平位置補正用摂動モデル制御則２０６、Min演算部２０９、Fin演算部２１０、制限処理部２１１、Mpf演算部２１５、逆位腕振り角補正用摂動モデルモーメント決定部２４０の処理は、前記第５実施形態と同一である。

【０９７３】

なお、本実施形態では、前記第４実施形態で説明したように今回歩容の終端等で各摂動モデル２０２、２０３、２３１の状態量により単純化モデル２００の状態量を修正するような処理は行なう必要はない。これは、分配器２２０，２２１，２４１から単純化モデル上体姿勢傾斜角補正用モーメント、Mrs単純化モデル上体水平位置補正用モーメントMps及び単純化モデル逆位相腕振り角補正用モーメントMasが追加入力されるからである。

【０９７４】

かかる本実施形態では、前記第５実施形態あるいは第６実施形態と同様の作用効果を奏することができる。

【０９７５】

なお、本実施形態では、各分配器２２０，２２１、２４１の２つの出力のうち一方を０とし、他方を入力に一致させるようにしても良い。

【０９７６】

この場合、例えば分配器２２０の出力である単純化モデル上体姿勢傾斜角補正用モーメントMrsを０にし、分配器２２１の出力である単純化モデル上体水平位置補正用モーメントMpsを０にし、分配器２４１の出力である単純化モデル逆位相腕振り角補正用モーメントMasを０にすると、第５実施形態と同一の作用効果を奏することとなる（事実上、第５実施形態のものと同一構成となる）。

【０９７７】

また、誤差補正モーメントMeに上体水平位置補正用モデル安定化モーメントMpfを加算した値を図示しない第３の分配器に入力し、その出力の一方を上体水平位置補正用摂動モデルに入力し、もう一方の出力を単純化モデル上体水平位置補正用モーメントMpsに加算しても良い。この場合、分配器２２１の出力である単純化モデル上体水平位置補正用モーメントMpsを０にしても良い。すなわち、分配器２２１を省略し、ソルモデル床反力モーメント誤差Merrにゲインkmを乗じた値を積分して符号を反転した値を上体水平位置補正用モデル安定化モーメントMpfに加算した値を第３の分配器に入力しても良い。

【０９７８】

以上説明した第２～第７実施形態においては、補償全床反力モーメント水平成分Mdmdxyは、上体姿勢角・角速度の代わりに、全体重心水平位置・速度など、ロボット１の他の姿勢に関する状態量に基づいて決定しても良い。

【０９７９】

次に、本発明の第８実施形態を図８２から図８９を参照して説明する。

【０９８０】

本実施形態における制御ユニット２６の機能ブロック図を図８２に示す。本実施形態では、第３実施形態に比較して、滑り判定部１１４が追加されている。また、滑り判定部１１４から出力される滑り判定結果が歩容生成装置１００に入力される。歩容生成装置１００においては、滑り判定結果が滑りありと判定されると、歩容パラメータを基に決定される床反力水平成分許容範囲および床反力モーメント鉛直成分許容範囲を狭め、滑り判定結果が滑りなしと判定されると、歩容パラメータを基に決定される床反力水平成分許容範囲および床反力モーメント鉛直成分許容範囲に戻す。他の構成および処理に関しては、前記第３実施形態と同一である。

【０９８１】

滑り判定部１１４を、その処理を表すフローチャートである図８５を用いて詳細に説明すると、まず、Ｓ５２１０において、スピン判定サブルーチンが実行される。スピン判定サブルーチンでは、そのフローチャートである図８６のＳ５３１０に進み、実上体姿勢角速度および関節角指令（検出値）を基に支持脚足平の対地角速度鉛直成分ωsupzを求める。次いでＳ５３１２に進み、足平の６軸力センサの検出値（実床反力）を基に、支持脚に作用している実床反力モーメント鉛直成分の時間的な変化率である支持脚床反力モーメント鉛直成分の変化率dMsupactz/dtを求める。次いでＳ５３１４に進み、前記支持脚足平の対地角速度鉛直成分ωsupzの絶対値がある所定の値ωeを越えているか否かを判定する。越えている場合には、Ｓ５３１６に進み、前記支持脚床反力モーメント鉛直成分の変化率dMsupactz/dtを前記支持脚足平の対地角速度鉛直成分ωsupzで割って符号を反転した値である、支持脚の見かけねじりばね定数Ksuptを求め、次いでＳ５３１８に進み、Ksuptがある所定の値Ksuptminよりも小さいか否かを判定し、小さい場

合には、Ｓ５３２０に進み、スピン判定結果を、スピンありと判定し、そうでない場合には、Ｓ５３２２に進み、スピン判定結果を、スピンなしと判定する。Ｓ５３１４において、前記支持脚足平の対地角速度鉛直成分ωsupzの絶対値が前記所定の値ωeを越えていないと判定された場合には、Ｓ５３２４に進み、スピン判定結果を、スピンなしと判定する。

【０９８２】

以上のごとくＳ５２１０の処理を完了した後、Ｓ５２１２に進み、並進滑り判定サブルーチンが実行される。

【０９８３】

並進滑り判定サブルーチンでは、そのフローチャートである図８７のＳ５４１０に進み、実上体姿勢角速度、加速度検出値および関節角指令（検出値）を基に支持脚足平の対地並進速度水平成分Vsupxyを求める。次いでＳ５４１２に進み、足平の６軸力センサの検出値（実床反力）を基に、支持脚に作用している実床反力水平成分の時間的な変化率である支持脚床反力水平成分の変化率dFsupactxy/dtを求める。次いでＳ５４１４に進み、前記支持脚足平の対地並進速度水平成分Vsupxyの絶対値がある所定の値Veを越えているか否かを判定する。越えている場合には、Ｓ５４１６に進み、前記支持脚床反力水平成分の変化率dFsupactxy/dtを前記支持脚足平の対地並進速度水平成分Vsupxyで割って符号を反転した値である、支持脚の見かけせん断ばね定数Ksups(=(－dFsupactxy/dt)/Vsupxy)を求め、次いでＳ５４１８に進み、Ksupsがある所定の値Ksupsminよりも小さいか否かを判定し、小さい場合には、Ｓ５４２０に進み、並進滑り判定結果を、並進滑りありと判定し、そうでない場合には、Ｓ５４２２に進み、並進滑り判定結果を、並進滑りなしと判定する。Ｓ５４１４において、前記支持脚足平の対地並進速度水平成分Vsupxyの絶対値が前記所定の値Veを越えていないと判定された場合には、Ｓ５４２４に進み、並進滑り判定結果を、並進滑りなしと判定する。

【０９８４】

以上のごとくＳ５２１２の処理を完了した後、Ｓ５２１４に進み、滑り振動判定サブルーチンが実行される。

滑り振動判定サブルーチンでは、そのフローチャートである図８８のＳ５５１０

に進み、足平６軸力センサの検出値（水平成分およびあるいはモーメント鉛直成分）をバンドパスフィルタに通すことにより、滑り振動成分を抽出する。尚、足平６軸力センサの検出値の代わりに、足平にヨーレートセンサ、加速度センサ等を備えて、その検出値を用いても良い。次いでＳ５５１２に進み、検出された滑り振動成分の大きさの絶対値がある所定の値Ampeを越えているか否かを判定する。越えている場合には、Ｓ５５１４に進み、滑り振動判定結果を、滑り振動ありと判定し、そうでない場合には、Ｓ５５１６に進み、滑り振動判定結果を、滑り振動なしと判定する。

【０９８５】

以上のごとくＳ５２１４の処理を完了した後、Ｓ５２１６に進み、スピン判定結果がスピンあり、または並進滑り判定結果が並進滑りあり、または滑り振動判定結果が滑り振動ありであるならば、Ｓ５２１８に進み、総合判定結果である滑り判定結果を滑りありと決定し、そうでないならば、Ｓ５２２０に進み、総合判定結果である滑り判定結果を滑りなしと決定する。以上が、滑り判定部１１４の処理である。

【０９８６】

図８３に本実施形態における歩容生成装置１００の処理のメインフローチャートを示す。

【０９８７】

同図８３おいて、Ｓ２３１０からＳ２３３２までは、第３実施形態のメインフローチャート（図６１）のＳ２０１０からＳ２０３２までの処理と同--の処理が行なわれる。

【０９８８】

次いでＳ２３３４に進み、修正歩容瞬時値決定サブルーチンが実行される。修正歩容瞬時値決定サブルーチンでは、元歩容に近づくように目標ＺＭＰおよび逆位相腕振り復元角加速度パターンを修正しつつ、修正された目標ＺＭＰまわりにモデル操作床反力モーメント（水平成分および鉛直成分）が付加的に発生するように修正歩容瞬時値が決定される。ただし床反力許容範囲を滑り判定結果に応じて変更される。

【０９８９】

図８４に修正歩容瞬時値決定サブルーチンのフローチャートを示す。
修正歩容瞬時値決定サブルーチンでは、まずＳ５１００からＳ５１１４までの処理が、第３実施例の修正歩容瞬時値決定サブルーチン図６２のＳ２１００からＳ２１１２と同様に実行される。次いで、Ｓ５１１６に進み、前記滑り判定結果が滑りありであるか否かを判定し、前記滑り判定結果が滑りありの場合には、Ｓ５１１８に進み、許容範囲低減率attを徐々に０に近づける（実質的に連続的に減少させる）。尚、許容範囲低減率attは０から１までの値をとるものとする。Ｓ５１１６において前記滑り判定結果が滑りなしと判定された場合には、Ｓ５１２０に進み、許容範囲低減率attを徐々に１に近づける（実質的に連続的に増加させる）。次いでＳ５１２２に進み、Ｓ５１１０およびＳ５１１２で決定した床反力の許容範囲の上限値および下限値であるFxmin, Fxmax, MzminおよびMzmaxに許容範囲低減率attを乗じることにより、床反力水平成分許容範囲と床反力モーメント水平成分許容範囲を狭める。尚、当然のことながら低減率が１の場合には、狭まらない。

【０９９０】

図８９に、滑り判定結果に応じて、許容範囲低減率att、最終的床反力許容範囲（具体的には、床反力水平成分許容範囲および床反力モーメント鉛直成分許容範囲を示す）が変化する様子の例を示す。
滑りからグリップ状態に早急に回復しないと転倒する恐れが生じるので、
滑りが発生したと判定されたならば、許容範囲をすばやく狭めるようにした方が良い。ただし、急激過ぎると、歩容の加速度変化が大きくなり過ぎ、衝撃などが生じるので、急激過ぎない適切な値にすべきである。

【０９９１】

滑りがなくなったと判定されたならば、許容範囲を元（すなわちＳ５１１０およびＳ５１１２で決定した床反力の許容範囲）にすばやく戻すようにした方が良い。許容範囲が狭いままでありと、修正歩容が元歩容から大きくずれていってしまうからである。ただし、急激過ぎると、歩容の加速度変化が大きくなり過ぎ、衝撃などが生じて再び滑ってしまうので、急激過ぎない適切な値にすべきである

。

【０９９２】

次いでＳ５１２４に進み、Ｓ２１１４と同様、床反力モーメント水平成分許容範囲と床反力モーメント鉛直成分許容範囲と床反力水平成分許容範囲との条件を満足するように、モデル操作床反力モーメント水平成分、コンプライアンス制御用目標床反力モーメント（水平成分および鉛直成分）、上体水平加速度および上体姿勢傾斜角加速度および逆位相腕振り角加速度を決定する。

次いでＳ５１２６からＳ５１２８まで進み、Ｓ２１１６からＳ２１１８までと同様の処理が行われる。

【０９９３】

上記のごとく修正歩容瞬時値決定サブルーチンが実行され、次いでＳ２３３６に進み、現在時刻ｔをΔｔだけ増加して、再びＳ２３１４に戻り、歩容生成を続ける。

【０９９４】

以上が、本実施形態における歩容生成装置１００の処理である。

【０９９５】

上記のごとく、第８実施形態においては、床反力水平成分許容範囲および床反力モーメント鉛直成分許容範囲を滑り判定結果に応じて変更するようにしたが、床反力水平成分許容範囲および床反力モーメント鉛直成分許容範囲のいずれか一方だけを変更するようにしても良い。

【０９９６】

一般的に、足平が床面上で平行に滑っている場合（せん断方向に滑っている場合）には、スピン方向（ヨー方向）のグリップ力も低下する。また逆に、スピン方向（ヨー方向）に滑っている場合には、足平が床面上で平行に滑り易くなる。したがって、いずれかの滑りが検知されたならば、床反力水平成分許容範囲および床反力モーメント鉛直成分許容範囲の両方を狭める（０にする）方が滑りから回復する効果は高い。

【０９９７】

また、第８実施形態において、歩容生成装置としては、第３実施形態の代わり

に第１、第２、第４から第７実施形態のいずれのものを用いても良い。前述のごとく、第３から第７実施形態においては、床反力水平成分許容範囲および床反力モーメント鉛直成分許容範囲は、単純化モデル歩容用のものと歩容補正用のものとの２種類がある。これら許容範囲のすべてを変更するようにしても良い。また、そうしなくとも、少なくとも、歩容補正用のいずれかの許容範囲を滑り判定結果に応じて、変更するようにすべきである。

【０９９８】

また、第８実施形態において、滑りの判定方法としては、実施の形態において挙げた方式以外にも、以下のようないずれを用いても良い。あるいはこれらの結果を総合的に（論理和、積などの論理演算を用いてい）判断しても良い。

１）角速度検出器などを基に床に対する足平の角速度を求め、この値の絶対値がある所定の値を越えたら、滑りが発生と判定する。

２）いずれかの脚の床反力モーメントの絶対値がある所定の値を越えたら、滑りが発生と判定する。

３）全床反力モーメント（両脚の床反力の合力のモーメント）の絶対値がある所定の値を越えたら、滑りが発生と判定する。

４）両脚支持期において、全床反力モーメントの変化率と上体姿勢角速度偏差との比に（－１）を乗じた値がある所定の値（両脚接地時ねじり剛性）よりも小さいならば、滑りが発生と判定する。

５）視覚センサや空間フィルタ等を用いた非接触型の対地速度、角速度検出器、あるいは接触型の対地速度、角速度検出器の検出値（推定値）の絶対値がある所定の値を越えたならば、滑りが発生と判定する。

【０９９９】

前記第３～第８実施形態においては、補償全床反力モーメント水平成分および補償全床反力モーメント鉛直成分を決定するようにしたが、いずれか一方あるいは両方を０に設定しても良い。ただしこの場合には、

フルモデル補正は、単に単純化モデルによる目標歩容の精度を高めるために用いられ、フルモデルを用いて歩容を修正することによる上体姿勢傾斜復元効果およびまたは上体ヨー角（角速度）復元効果はなくなる。

【１０００】

前記第４～第７実施形態においては、単純化モデル２００による歩容生成（単純化モデル歩容生成）には、本願出願人が先に提案した特開平５－３３７８４９号公報の第１実施例、第２実施例の歩容生成装置を用いても良い。フルモデルによる補正量を小さくすることができるので、補正された歩容が単純化モデル歩容から大きくずれることを防止できる。

【１００１】

前記第２実施形態においては、補償全床反力モーメント水平成分Mdmdxyが床反力モーメント許容範囲水平成分を越えると（第３実施形態以降においては、補償全床反力モーメント水平成分Mdmdxyとモデル操作床反力モーメント水平成分との和が床反力モーメント許容範囲を越えると）、コンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分は、床反力モーメント水平成分許容範囲の上限値あるいは下限値になる。但し、補償全床反力モーメント水平成分Mdmdxy（第３実施形態以降においては、補償全床反力モーメント水平成分Mdmdxyとモデル操作床反力モーメント水平成分との和）が床反力モーメント水平成分許容範囲を越えていても、補償全床反力モーメント水平成分Mdmdxy（第３実施形態以降においては、補償全床反力モーメント水平成分Mdmdxyとモデル操作床反力モーメント水平成分との和）の増加もしくは減少に応じてコンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分も増加もしくは減少するようにしても良い。コンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分が床反力モーメント水平成分許容範囲に接近すると、コンプライアンス制御によって制御される実床反力モーメント水平成分が目標よりも少なめになる傾向があり、このためコンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分が少々許容範囲を越えても、すぐには、足平２２の本来の接地感を低下させたり、足平２２の底面が浮いてしまうような不具合が発生しない場合が多いからである。

【１００２】

同様に理由により、床反力モーメント水平成分許容範囲をいわゆる支持多角形で表されるＺＭＰ存在可能範囲（厳密な表現では、実床反力作用点の存在許容範囲）をモーメント水平成分に換算して得られる許容範囲を越えて設定しても良い

。

【１００３】

コンプライアンス制御によって発生する床反力モーメント水平成分に過度に期待すると、上記のごとく足平２２の本来の接地感を低下させたり、足平２２の底面が浮いてしまうような不具合が発生する。よって、床反力モーメント水平成分許容範囲は、姿勢制御がコンプライアンス制御に期待する実床反力モーメント水平成分の許容範囲であると言える。

【１００４】

床反力モーメント水平成分許容範囲は、歩容パラメータからのみならず、検出された実床反力にも基づいて決定しても良い。また、階段でのエッジ位置検出値など、足平２２の接地領域の検出値にも基づいて決定してもよい。

【１００５】

一方、コンプライアンス制御によって発生する床反力モーメント鉛直成分に過度に期待すると、スピンしてしまうような不具合が発生する。よって、床反力モーメント鉛直成分許容範囲は、姿勢制御がコンプライアンス制御に期待する実床反力モーメント鉛直成分の許容範囲であると言える。

【１００６】

前記第２実施形態の図５５のＳ３０２８における今回歩容パラメータの修正（目標ＺＭＰの修正）を制御周期毎に実行するように、メインフローチャートの処理を変更しても良い。

【１００７】

修正歩容（目標歩容）が元歩容より大きくずれてしまう場合（発散してしまう場合）には、次回歩容の歩容パラメータ修正をする頃に既に、大きくずれて過ぎてしまい（発散し過ぎてしまい）、次回歩容の歩容パラメータ修正だけでは、継続的長期的に安定な目標歩容を生成することが困難になる。今回歩容パラメータの修正（目標ＺＭＰの修正）を制御周期毎に実行することによって、この問題をかなり解決することができる。

【１００８】

さらには、元歩容からのずれ具合によって、今回歩容の足平着地位置や着地時

刻などを制御周期毎に変更しても良い。

【１００９】

具体的には、Ｓ３０２０からＳ３０３０までの処理を制御周期毎に実行するように処理フローを変更しておき、Ｓ３０２０において、次回歩容支持脚座標系（次回歩容支持脚座標系は、次の足平着地位置姿勢に対応）、次次回歩容支持脚座標系（次次回歩容支持脚座標系は、次の次の足平着地位置姿勢に対応）、今回歩容周期（今回歩容周期は、次の足平着地時刻に対応）および次回歩容周期（次回歩容周期は、定常歩容の周期に相当）の少なくともいずれかを、Ｓ３０２８における今回歩容パラメータの修正（特に目標ZMPの修正）が小さくなるように（すなわち、今回歩容の安定余裕が高く維持されるように）、適宜変更すれば良い。

【１０１０】

さらには、上記以外の歩容パラメータを変更しても良い。

【１０１１】

また、修正歩容の元歩容からのずれは、単純化モデル上体姿勢傾斜角補正用モーメントMr、単純化モデル上体水平位置補正用モーメントMpおよび単純化モデル逆位相腕振り角補正用モーメントMaなどから動力学モデルを用いて推定することができるので、Mr，Mp およびMaに応じてモデルの挙動ずれを推定し、推定された挙動ずれを基に、歩容パラメータを修正してもよい。あるいは、Mr，Mp およびMaと歩容パラメータの修正量の適正値との関係をあらかじめ求めてマップ化しておいて、Mr，Mp およびMaに応じてマップを基に歩容パラメータの修正量を決定してもよい。

【１０１２】

また、他の実施形態（第３～第７実施形態）に対しても上記と同様に、処理フローを変更して良い。

【１０１３】

復元条件には、前記した条件以外にも、関節角が許容範囲を越えていないか、脚などの干渉がないか、関節角速度、トルクが過大でないかなどのキネマティクス条件、ダイナミクス条件を加えても良い。

【１０１４】

また、これに伴って、前述したごとく、今回歩容パラメータの修正（目標ＺＭＰあるいは着地位置、時刻などの修正）を制御周期毎に実行するようにメインフローチャートの処理を変更した場合には、今回歩容の安定余裕が高く維持されるように適宜変更される歩容パラメータの値が、適切な値になるように（ある制約条件を満足するように）することも、復元条件のひとつに加えても良い。

【１０１５】

歩容の切り変わり目で決定された（読み込まれた）着地位置、着地時刻は、上位の制御装置からの指示（歩行計画決定部やオペレータからの指示など。これを当初の要求と呼ぶ。）によって決定されるので、修正歩容の着地位置、着地時刻は、できる限り歩容の切り変わり目で決定された（読み込まれた）着地位置、着地時刻に戻るべきである。そこで、歩容の切り変わり目で決定された（読み込まれた）着地位置、着地時刻を記憶し、修正歩容の着地位置、着地時刻が、記憶された着地位置、着地時刻にできる限り一致または近づくことも復元条件に加えても良い。ただし、実は、前記復元条件４、５および６によって、修正歩容の着地位置、着地時刻は、できる限り歩容の切り変わり目で決定された（読み込まれた）着地位置、着地時刻に徐々に戻る作用が働くので、あえて追加する必要はない。

【１０１６】

また、状況の変化に対応して、当初の要求を変更し、変更した要求を満足する歩容パラメータに、上記のごとく歩容の安定余裕を高く維持するために適宜変更される歩容パラメータが、できる限り一致または近づくことを復元条件に加えても良い。この場合、前記前記復元条件４、５および６は削除するべきである。

【１０１７】

前述した各種の復元条件を満足するモデル上体水平位置安定化床反力モーメントとモデル上体姿勢傾斜角安定化床反力モーメントの決定法には、制約条件下で最適値を求めるための線形計画法（シンプレックス法など）や探索法を用いれば良い。または、ファジー推論を用いても良い。

【１０１８】

また、着地位置を変更する場合には、歩行環境の障害物なども考慮しなければ

ならない状況も考えられる。このような状況にも対処できるようにするためには、環境認識や行動決定などの人工知能の分野に属する処理も加えて、修正歩容を決定すべきである。

【１０１９】

モデル逆位相腕振り角安定化床反力モーメントの決定法も同様である。

【１０２０】

前記第４～第７実施形態における制限手段（制限処理部２１１）の前後のブロック図は、例えば本願出願人によるＰＣＴ／ＪＰ０２／１３５９３で示したように、等価変換あるいは近似変換しても良い。

【１０２１】

この場合、上体水平位置補正用モデル安定化モーメントMpfをｈで割った値をローパスフィルタに通した値を補正目標床反力水平成分（フルモデル床反力水平成分Ffull）から減じた値が上記ＰＣＴ出願におけるバイアス推定値destmに相当する。したがって、例えば、前記第４～第６実施形態におけるゲインKcの積分を、時定数１/Kcの１次遅れをフィードバック要素としたポジティブフィードバック系に置き換えたりして、図７８のように、近似変換をしても良い。この例では、第４～第６実施形態におけるMpf演算部２１５が図示の如く近似変換されている。

【１０２２】

摂動モデル逆位相腕振り角補正モーメント決定部および摂動モデル逆位相腕振り角補正モーメント決定部も、同様に等価変換あるいは近似変換しても良い。

【１０２３】

前記第３実施形態においては、前記摂動モデル逆位相腕振り角補正モーメント決定部は、図７９に示す機能ブロック図の代わりに、図８１に示す機能ブロック図の処理を行うようにしても良い。図７９では、逆位相腕振り角補正用モデルが復元する動作によって発生するモーメント鉛直成分までも含めて、床反力モーメント鉛直成分許容範囲を越えるか否かが判定されて、逆位相腕振り角補正用モデルの挙動が決定されたが、図８１に示す機能ブロック図の処理では、逆位相腕振り角補正用モデルが復元する動作によって発生するモーメント鉛直成分は、床反

力モーメント許容範囲を越えるか否かを判定する上で無視される。

【１０２４】

図８１に示す機能ブロック図の処理を詳細に説明すると、フルモデル床反力モーメント鉛直成分Mfullzと上体水平位置補正に起因する床反力モーメント鉛直成分摂動量Mpzと補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdzとの和を無制限時補正目標床反力モーメント鉛直成分Minzとし、これに図７９と同様に制限を加えることにより、制限時補正目標床反力モーメント鉛直成分Mltdzを求める。制限時補正目標床反力モーメント鉛直成分Mltdzは、コンプライアンス制御用目標床反力モーメント鉛直成分として出力される。さらに、制限時補正目標床反力モーメント鉛直成分Mltdzから無制限時補正目標床反力モーメント鉛直成分Minzを減じた値、すなわち、無制限時補正目標床反力モーメント鉛直成分Mi nzのうちの床反力モーメント鉛直成分許容範囲を越えた分であるMaaを求める。次いで、補正用摂動モデル逆位相腕振り角θcaの前回値を基に、ＰＤ制御等を用いた逆位相腕振り角補正用摂動モデル制御則によって逆位相腕振り角補正用モデル安定化モーメント要求値Mafdmdを求め、これをMaaから減じた値（モーメント）を逆位相腕振り角補正用摂動モデルに入力し、補正用摂動モデル逆位相腕振り角θcaを得る。

【１０２５】

Maaから補正用摂動モデル逆位相腕振り角θcaまでの伝達関数は、ローパスフィルタの伝達関数になる。

【１０２６】

すなわち、言い換えると、逆位相腕振り角補正用モデルによる床反力モーメント鉛直成分のキャンセル（超過防止動作）を行わない場合に発生する床反力モーメント鉛直成分（無制限時床反力モーメント鉛直成分）を、床反力モーメント鉛直成分許容範囲を越えないように制限する制限手段（飽和手段）に通すことにより、コンプライアンス制御用目標床反力モーメント鉛直成分（制限時補正目標床反力モーメント鉛直成分Mltdz）を得ると共に、無制限時床反力モーメント鉛直成分を、床反力モーメント鉛直成分許容範囲を越えた分を求める不感帯手段に通した値をローパスフィルタ（すなわちハイカットフィルタ）に通すことにより、補正用摂動モデル逆位相腕振り角θcaを得る。

【１０２７】

前記第２実施形態においては、本願出願人が提案した特開平５－３３７８４９号公報に記載の構成に加え、床反力の並進力水平成分が床反力水平成分の許容範囲を越えないように、床反力水平成分と目標ＺＭＰまわりの床反力モーメント水平成分との発生の割合が異なる２つの運動モードの挙動、例えば、上体並進運動モードの上体並進加速度と上体傾斜運動モードの上体姿勢傾斜角加速度が決定されるので、実ロボット１を、修正目標歩容（最終的に歩容生成装置１００が出力する歩容）に収束させることができる。つまり、実ロボット１の姿勢を安定化させることができる。

【１０２８】

また、コンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分とモデル操作床反力モーメント水平成分の差がトータルの復元力になる。

【１０２９】

また、モデル操作床反力モーメント水平成分は、ＺＭＰ存在可能範囲を無視していかなる値でも取ることが可能であるので、非常に高い姿勢復元力を発生することができる。

【１０３０】

また、床反力の並進力水平成分が、床反力水平成分の許容範囲を越えないので、ロボット１のスリップを防止できる。

【１０３１】

また、床反力モーメント鉛直成分（コンプライアンス制御用目標床反力モーメント鉛直成分）しいては実床反力モーメント鉛直成分が、床反力モーメント鉛直成分の許容範囲を越えないので、ロボット１のスリップをより一層防止できる。

【１０３２】

また、床反力鉛直成分が０の時期、すなわち、両脚体２，２がいずれも接地していない時期では、上体並進運動モードに依存せずに上体回転運動モードに依存した姿勢復元が行われ、床と足平２２の間の摩擦力に依存せずに効果的に姿勢復元が行われる。

【１０３３】

また、実床反力モーメントが過大になることを防止するので、足平２２の本来の接地性が低下したり、足平２２の底面が浮いてしまうような不具合が発生することを防止または抑制することができる。

【１０３４】

また、１歩分の修正歩容の終端状態を新たな初期状態とした新たな今回歩容が、定常歩容に漸近するように、今回歩容パラメータが決定または変更されるので、継続的に（長期的に）安定性が保証された歩容を生成し続けることができる。

【１０３５】

前記第３実施形態においては、上記のごとく、元歩容と修正歩容が同時に生成され、修正歩容は、実ロボット１の姿勢安定化のために修正されると共に、コンプライアンス制御により姿勢復元に必要な床反力モーメント（水平成分及び鉛直成分）を発生してもまだ余裕がある場合には、この余裕を用いて、可能な範囲で元歩容に収束するようにしている。このため、第２実施形態の効果に加え、当初設定した元歩容に近い、すなわち、当初の要求通りの歩容に近い歩容を生成することができる。したがって、あらかじめ設定された移動経路がある場合には、移動経路から大きくずれることを防止できる。また、修正歩容の上体姿勢角が元歩容（当初決定した歩容）の上体姿勢角に収束することを、修正歩容の上体水平位置が元歩容（当初決定した歩容）の上体水平位置に収束することよりも優先したので、上体姿勢角が大きく変動することを抑制することができる。

【１０３６】

前記第１～第７実施形態では、床反力水平成分許容範囲を設定するようにしたが、床反力水平成分とロボット全体重心水平加速度は、比例関係にあるので、前記各実施形態における床反力水平成分およびその許容範囲の代わりに、ロボット全体重心水平加速度およびその許容範囲を用いても構わない。また、ロボット全体重心水平軌道に近い挙動をする部位の水平加速度軌道に関するパラメータを明示的に設定しても構わない。例えば、脚体２，２の質量が上体３の質量に比べ十分に小さい場合には、上体水平加速度軌道とロボット１の全体重心水平加速度軌道は、ほぼ同じか比例関係にあるので、床反力水平成分およびその許容範囲の代わりに上体水平加速度およびその許容範囲を用いても良い。

【１０３７】

同様に、床反力モーメント鉛直成分とロボット全体角運動量変化率鉛直成分は、比例関係にあるので、前記各実施形態における床反力モーメント鉛直成分およびその許容範囲の代わりに、ロボット全体角運動量変化率鉛直成分およびその許容範囲を用いても構わない。

【１０３８】

さらに、斜面移動時（傾斜した床面でロボット１を移動させるとき）の歩容生成においては、床反力水平成分許容範囲や全体重心加速度水平成分の許容範囲の代わりに、並進床反力の床面平行成分（床面に平行な成分）、すなわち摩擦力の許容範囲、あるいは全体重心加速度の床面平行成分（これは重力成分を除けば摩擦力に比例する）の許容範囲を設定するようにしてもよい。例えば、並進床反力の床面平行成分（摩擦力）の許容範囲を設定する場合に関して説明（この説明は全体重心加速度の床面平行成分の許容範囲を設定する場合でも同様である）すると、該摩擦力は、床面の水平面に対する傾斜角度をθf（ロボット１の進行方向に向かって前下がり斜面の場合を正とする）とすると、次式ｃ７２の関係が成立する。従って、前記実施形態と同様のアルゴリズムに歩容を生成する場合、この式ｃ７２の関係を用いて、摩擦力許容範囲を床反力水平成分許容範囲に変換することで、該床反力水平成分許容範囲を設定するようにすればよい。なお、この場合、式ｃ７２の床反力鉛直成分には、目標床反力鉛直成分を用いればよい。

【１０３９】

摩擦力 ＝ 床反力水平成分*cos(θf)－床反力鉛直成分*sin(θf)

…式ｃ７２

【１０４０】

また、斜面移動時（傾斜した床面でロボット１を移動させるとき）の歩容生成においては、床反力モーメント鉛直成分許容範囲の代わりに、床反力モーメントの床面法線方向成分、すなわち摩擦力モーメントの許容範囲を設定するようにしてもよい。例えば、該摩擦力モーメントは、床面の水平面に対する傾斜角度をθf（ロボット１の進行方向に向かって前下がり斜面の場合を正とする）とすると、次式ｃ７３の関係が成立する。従って、前記実施形態と同様のアルゴリズムに

歩容を生成する場合、この式ｃ７３の関係を用いて、床反力モーメント鉛直成分と－床反力モーメント水平成分から摩擦力モーメントを算出し、この値が摩擦力モーメントの許容範囲を越えないように処理を変更すれば良い。

【１０４１】

摩擦力モーメント ＝ 床反力モーメント鉛直成分*cos(θf)

＋床反力モーメント水平成分*sin(θf)

…式ｃ７３

【１０４２】

床反力水平成分と目標ＺＭＰまわりの床反力モーメントとを適切な値にするために、前記の実施形態では、上体傾斜モードと上体並進モードとの２つの運動モードを用いたが、これら以外の運動モードを用いても良い。この場合、運動モードのひとつが床反力水平成分を発生しない運動モードである必要もない。いかなるモードの組み合わせであっても、床反力水平成分と目標ＺＭＰまわりの床反力モーメントの発生の割合が異なる２つの運動モードを用いさえすれば、上記例のように、任意の床反力水平成分と目標ＺＭＰまわりの床反力モーメントとを発生させることができるからである。

【１０４３】

また、上体姿勢以外の運動モードを用いても良い。ただし、なるべく小さい変位で大きな床反力水平成分または目標ＺＭＰまわりの床反力モーメントが発生できる運動モードを選ぶべきである。

【１０４４】

例えば、左右の腕を同一回転方向に振りまわす運動モード、接地していない（空中に存在する）足平の位置を摂動させる運動モードでも良い。ただし、遊脚軌道を摂動させる場合には、着地位置が変わらないように着地直前までには、摂動量を実質的に０に戻すべきである。

【１０４５】

また、３つ以上の運動モードを用いても良い。

【１０４６】

また、選んだモードのうちの少なくとも２つは、床反力水平成分と目標ＺＭＰ

まわりの床反力モーメントとの発生比率が、互いに異なるものである必要がある。そうでないと、一般的に連立方程式の解がなくなるからである。

【１０４７】

さらにできる限り、床反力水平成分をあまり変化させないで目標ＺＭＰまわりの床反力モーメントを十分に大きく変化させることができる運動モードと、目標ＺＭＰまわりの床反力モーメントをあまり変化させないで床反力水平成分を十分に大きく変化させることができる運動モードとを組み合わせることが望ましい。

【１０４８】

言いかえると、全体重心をあまり変化させないで角運動量を十分に大きく変化させることができる運動モードと、角運動量をあまり変化させないで全体重心を十分に大きく変化させることができる運動モードとを組み合わせることが望ましい。運動モードの変位が小さくなるからである。

【１０４９】

床反力モーメント鉛直成分を適切な値にするために、前記の実施形態では、逆位相腕振りモードを用いたが、これら以外の運動モードを用いても良い。例えば、上体ヨー回転モードを用いても良い。

【１０５０】

また、床反力モーメント鉛直成分を適切な値にするために用いられる運動モードが床反力水平成分および床反力モーメント水平成分を発生しない運動モードである必要もない。例えば、遊脚を前後に振る運動モードを用いても良い。その運動モードによって発生した床反力水平成分および床反力モーメント水平成分は、上体傾斜モードと上体並進モードとの２つの運動モードを調整することによって、打ち消すことができるからである。

【１０５１】

前記単純化モデルとして、前記実施形態に用いた動力学モデル以外にも以下のモデルを用いても良い。

１）図１１に示したように複数のリンクに質点を設定した非線形なモデル（多質点モデル）

２）本願出願人による特願２０００－３５２０１１号に示された３質点モデル

３）上体にのみ質量がある１質点モデル

４）全体重心まわりの角運動量変化によって生じる慣性力のモーメントを無視したモデル

５）重力と慣性力との合力（または床反力）と上体並進運動との関係を表す部分モデルと、上記合力と上体回転運動の関係を表す部分モデルを分離して持つ分離型モデル。例えば、図１０に示す質点は、上記合力と上体並進運動との関係を表す部分モデルであり、図１０に示すフライホイールは、上記合力と上体回転運動との関係を表す部分モデルである。

【１０５２】

ただし、単純化モデルに単純化モデル上体姿勢傾斜角補正用モーメントが加えられる実施形態においては、上記２）、３）、および４）のモデルを用いることはできない。

【１０５３】

尚、フルモデルは、基本的には、単純化モデルよりもより近似精度の高い動力学モデルを用いることが好ましいが、単純化モデルと同等の近似精度の動力学モデルを用いてもよい。

【１０５４】

また、前述した各実施形態において、ブロック線図、フローチャート、およびアルゴリズムなどは、演算処理順序を変えるなどの等価変形をしても良い。また、適宜ローパスフィルタを挿入しても良い。

【１０５５】

また、前記各実施形態を２足移動ロボットに関して説明してきたが、１足もしくは３足以上の多脚ロボットにも本発明を適応することができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】

本発明の実施形態の説明図。

【図２】

本発明の実施形態の説明図。

【図３】

本発明の実施形態の説明図。

【図４】

本発明の実施形態の説明図。

【図５】

本発明の実施形態の説明図。

【図６】

本発明の実施形態の説明図。

【図７】

本発明の実施形態の説明図。

【図８】

本発明の実施形態の説明図。

【図９】

本発明の実施形態の説明図。

【図１０】

本発明の実施形態の説明図。

【図１１】

本発明の実施形態の説明図。

【図１２】

本発明の実施形態の説明図。

【図１３】

本発明の実施形態の説明図。

【図１４】

本発明の実施形態の説明図。

【図１５】

本発明の実施形態の説明図。

【図１６】

本発明の実施形態の説明図。

【図１７】

本発明の実施形態の説明図。

【図１８】

本発明の実施形態の説明図。

【図１９】

本発明の実施形態の説明図。

【図２０】

本発明の実施形態の説明図。

【図２１】

本発明の実施形態の説明図。

【図２２】

本発明の実施形態の説明図。

【図２３】

本発明の実施形態の説明図。

【図２４】

本発明の実施形態の説明図。

【図２５】

本発明の実施形態の説明図。

【図２６】

本発明の実施形態の説明図。

【図２７】

本発明の実施形態の説明図。

【図２８】

本発明の実施形態の説明図。

【図２９】

本発明の実施形態の説明図。

【図３０】

本発明の実施形態の説明図。

【図３１】

本発明の実施形態の説明図。

【図３２】

本発明の実施形態の説明図。

【図３３】

本発明の実施形態の説明図。

【図３４】

本発明の実施形態の説明図。

【図３５】

本発明の実施形態の説明図。

【図３６】

本発明の実施形態の説明図。

【図３７】

本発明の実施形態の説明図。

【図３８】

本発明の実施形態の説明図。

【図３９】

本発明の実施形態の説明図。

【図４０】

本発明の実施形態の説明図。

【図４１】

本発明の実施形態の説明図。

【図４２】

本発明の実施形態の説明図。

【図４３】

本発明の実施形態の説明図。

【図４４】

本発明の実施形態の説明図。

【図４５】

本発明の実施形態の説明図。

【図４６】

本発明の実施形態の説明図。

【図４７】

本発明の実施形態の説明図。

【図４８】

本発明の実施形態の説明図。

【図４９】

本発明の実施形態の説明図。

【図５０】

本発明の実施形態の説明図。

【図５１】

本発明の実施形態の説明図。

【図５２】

本発明の実施形態の説明図。

【図５３】

本発明の実施形態の説明図。

【図５４】

本発明の実施形態の説明図。

【図５５】

本発明の実施形態の説明図。

【図５６】

本発明の実施形態の説明図。

【図５７】

本発明の実施形態の説明図。

【図５８】

本発明の実施形態の説明図。

【図５９】

本発明の実施形態の説明図。

【図６０】

本発明の実施形態の説明図。

【図６１】

本発明の実施形態の説明図。

【図６２】

本発明の実施形態の説明図。

【図６３】

本発明の実施形態の説明図。

【図６４】

本発明の実施形態の説明図。

【図６５】

本発明の実施形態の説明図。

【図６６】

本発明の実施形態の説明図。

【図６７】

本発明の実施形態の説明図。

【図６８】

本発明の実施形態の説明図。

【図６９】

本発明の実施形態の説明図。

【図７０】

本発明の実施形態の説明図。

【図７１】

本発明の実施形態の説明図。

【図７２】

本発明の実施形態の説明図。

【図７３】

本発明の実施形態の説明図。

【図７４】

本発明の実施形態の説明図。

【図７５】

本発明の実施形態の説明図。

【図７６】

本発明の実施形態の説明図。

【図７７】

本発明の実施形態の説明図。

【図７８】

本発明の実施形態の説明図。

【図７９】

本発明の実施形態の説明図。

【図８０】

本発明の実施形態の説明図。

【図８１】

本発明の実施形態の説明図。

【図８２】

本発明の実施形態の説明図。

【図８３】

本発明の実施形態の説明図。

【図８４】

本発明の実施形態の説明図。

【図８５】

本発明の実施形態の説明図。

【図８６】

本発明の実施形態の説明図。

【図８７】

本発明の実施形態の説明図。

【図８８】

本発明の実施形態の説明図。

【図８９】

本発明の実施形態の説明図。

【図９０】

本発明の実施形態の説明図。

【符号の説明】

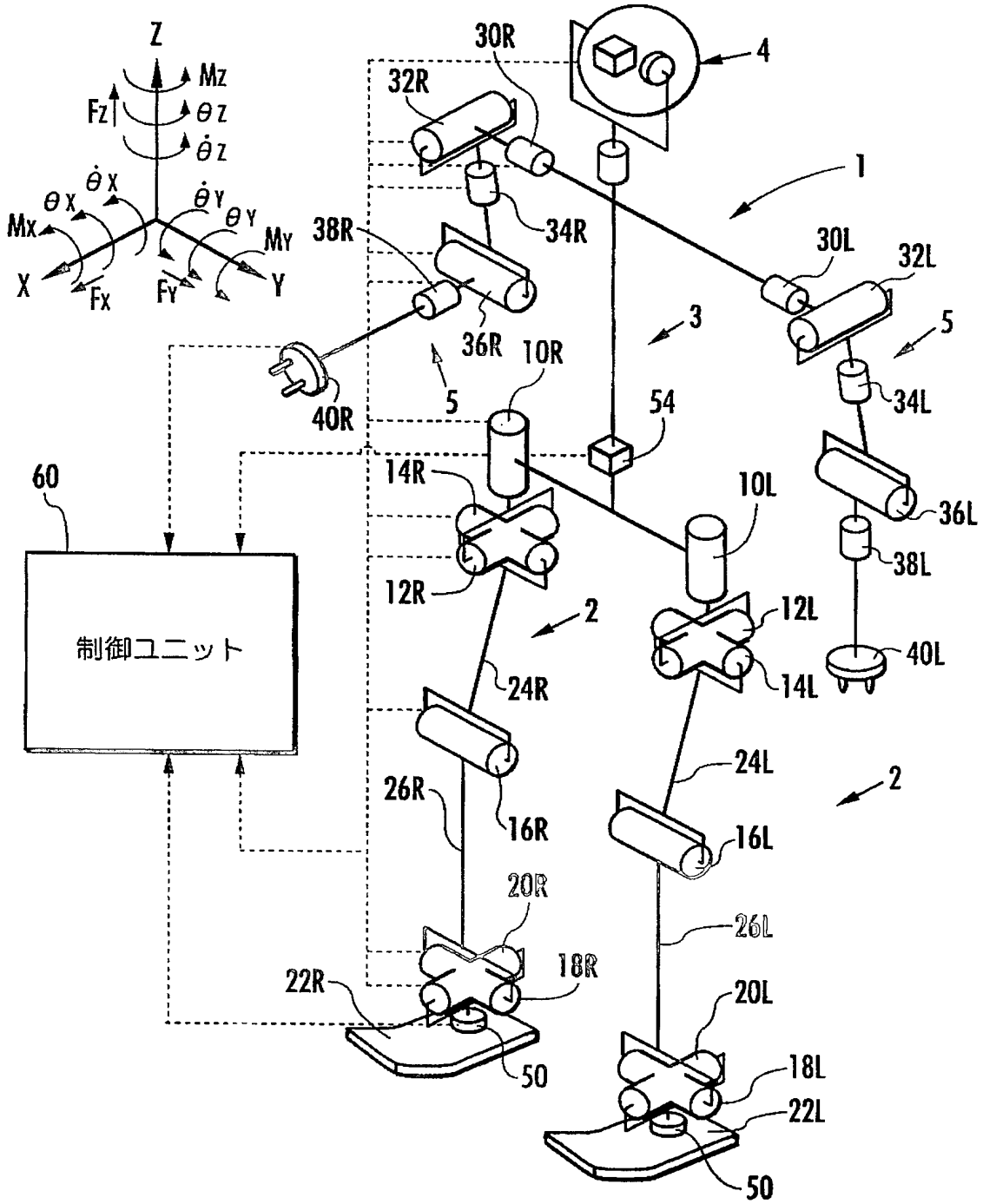
１…脚式移動ロボット、２…脚体、３…上体、５…腕体、６０…制御ユニット

。

【書類名】　図面

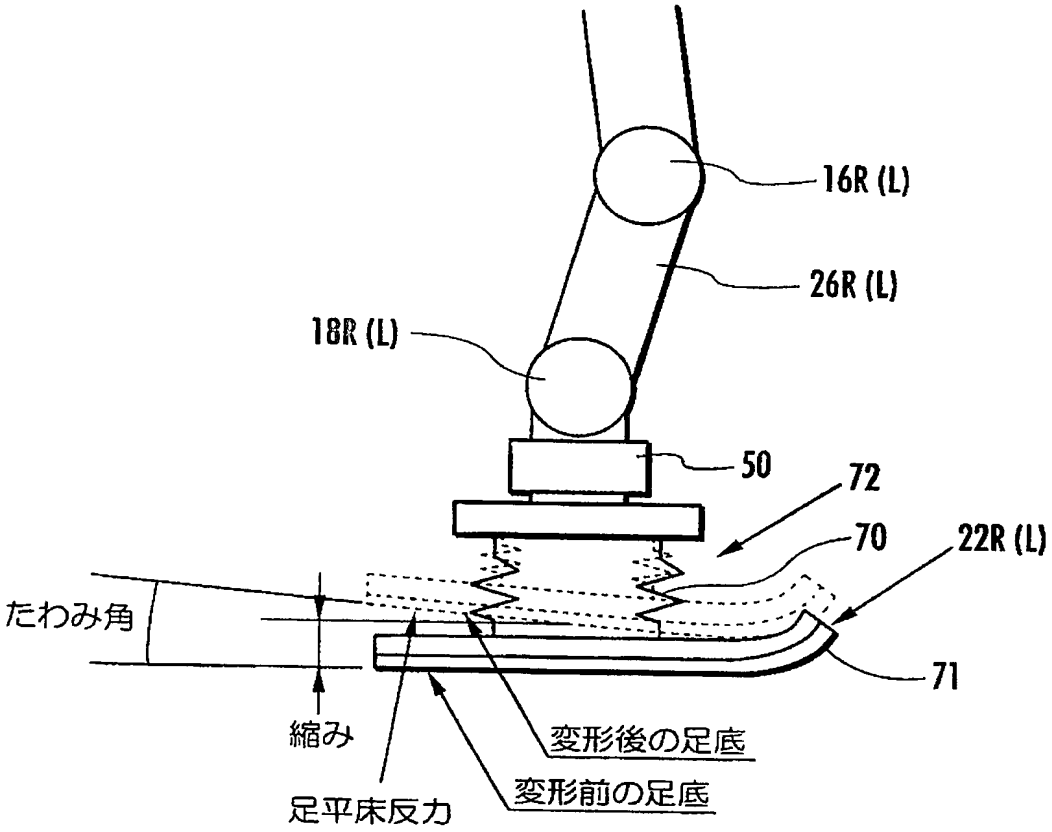
【図１】

FIG.1



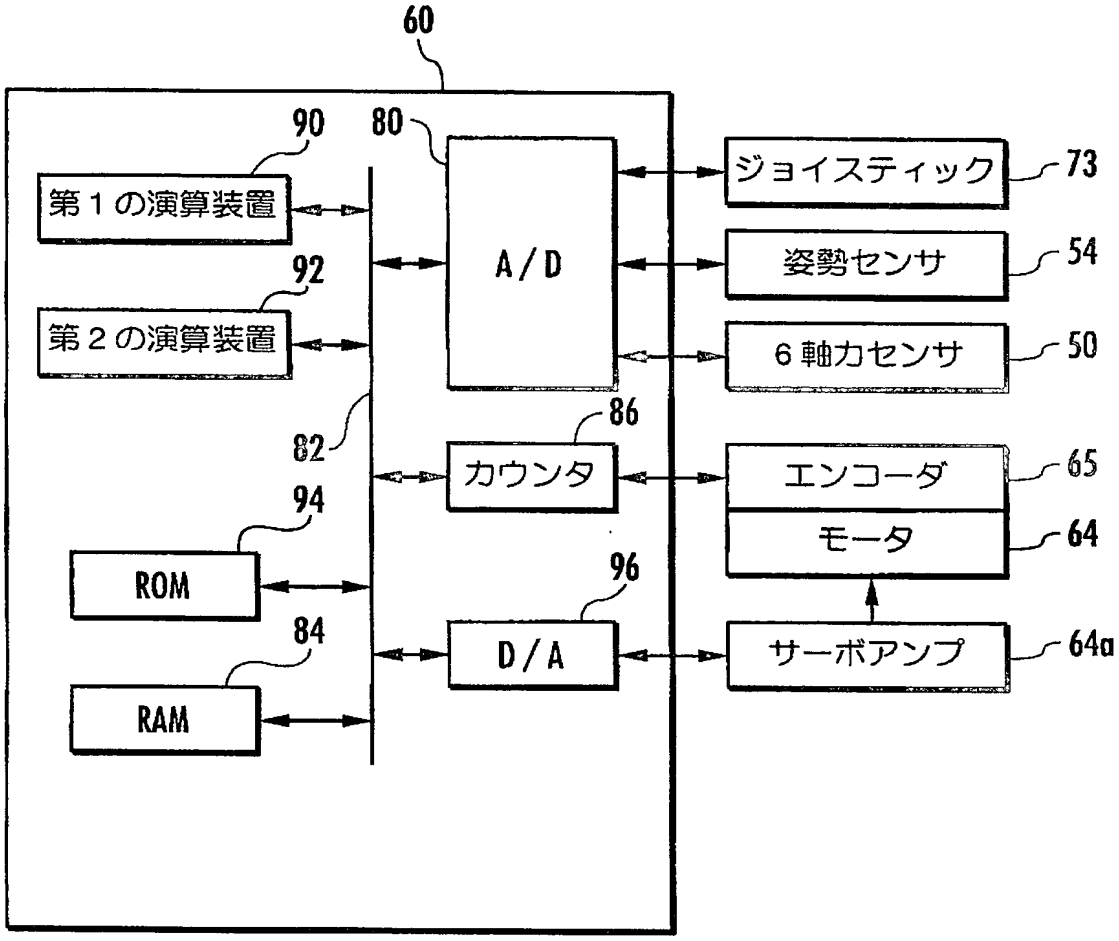
【図２】

FIG.2

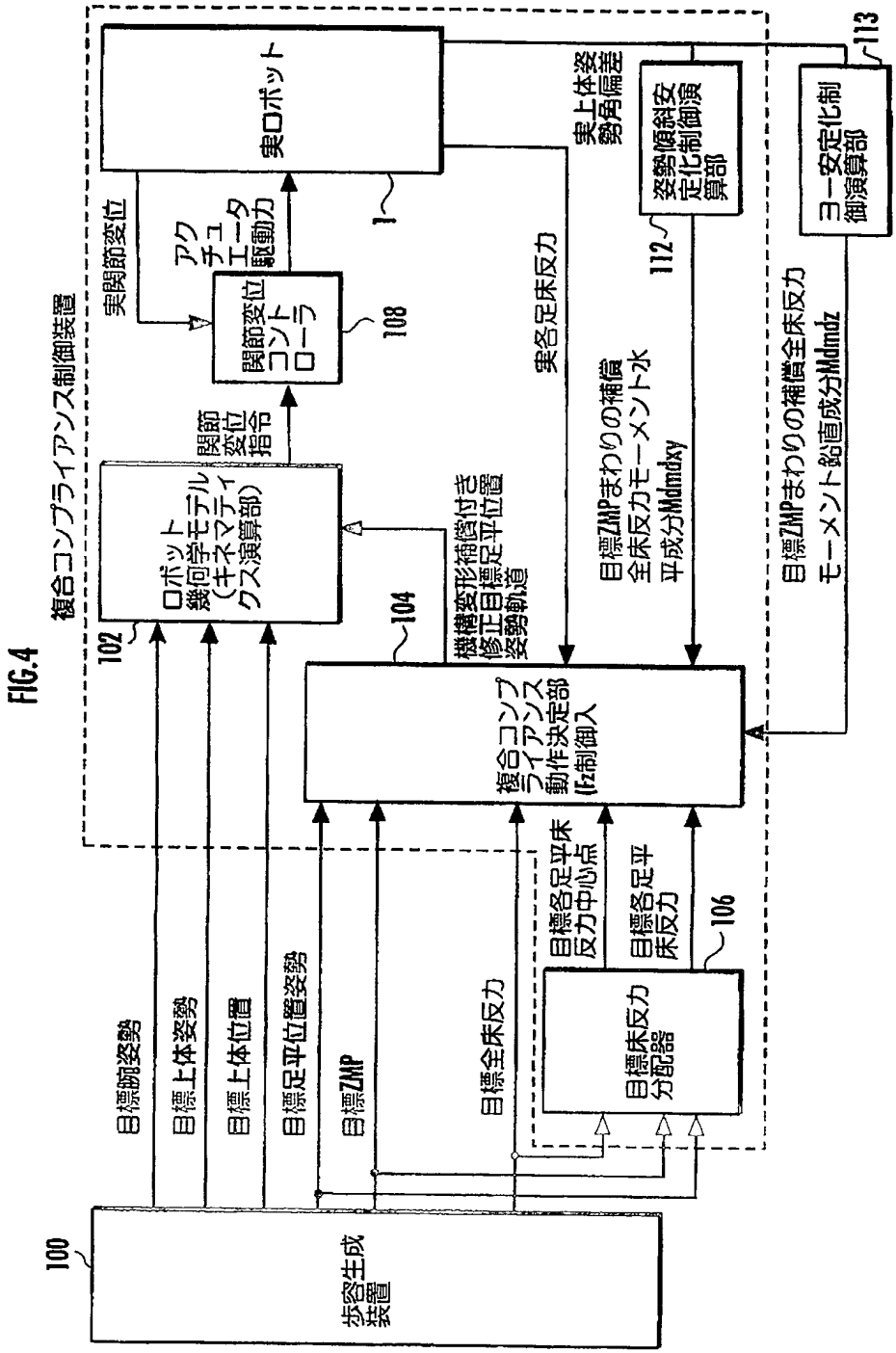


【図３】

FIG.3


60
90
80
第１の演算装置
92
第２の演算装置
A/D
ジョイスティック
73
姿勢センサ
54
６軸力センサ
50
82
86
カウンタ
エンコーダ
65
モータ
64
94
ROM
96
D/A
サーボアンプ
64a
84
RAM

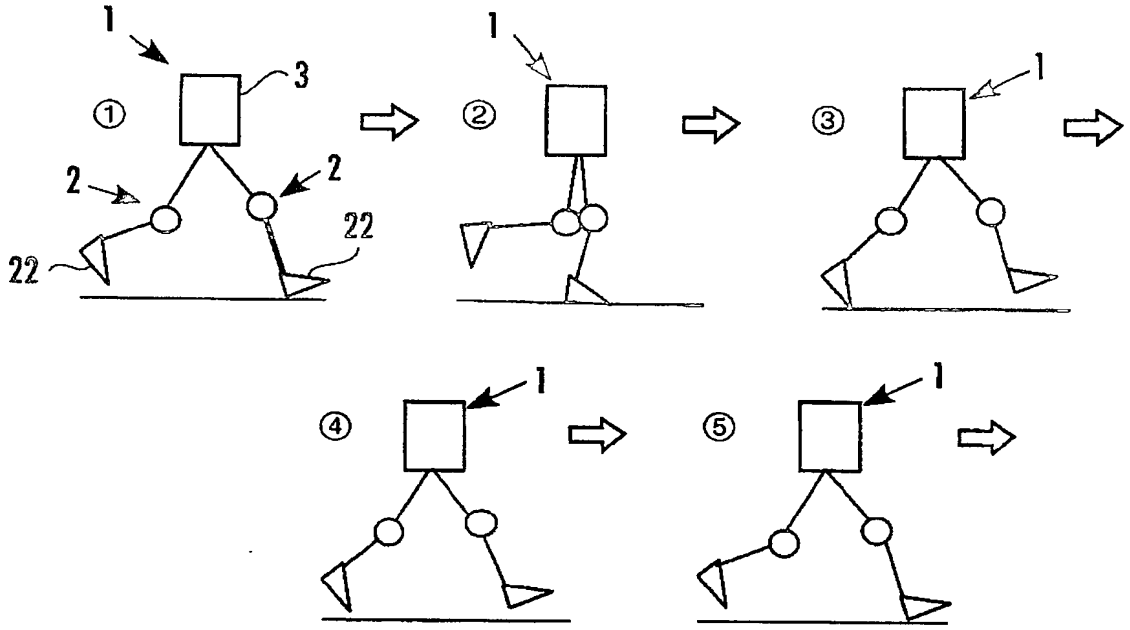
【図４】


FIG.4
複合コンプライアンス制御装置
実ロボット
1
実関節変位
アクチュエータ駆動力
関節変位コントローラ
108
関節変位指令
ロボット幾何学モデル（キネマティクス演算部）
102
機構変形補償付き修正目標足平位置姿勢軌道
104
実各足床反力
実上体姿勢角偏差
姿勢傾斜安定化制御演算部
112
ヨー安定化制御演算部
113
目標ZMPまわりの補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdz
目標ZMPまわりの補償全床反力モーメント水平成分Mdmdxy
複合コンプライアンス動作決定部（制御入
目標腕姿勢
目標上体姿勢
目標上体位置
目標足平位置姿勢
目標ZMP
目標全床反力
目標各足平床反力中心点
目標各足平床反力
106
目標床反力分配器
歩容生成装置
100

【図５】

FIG.5

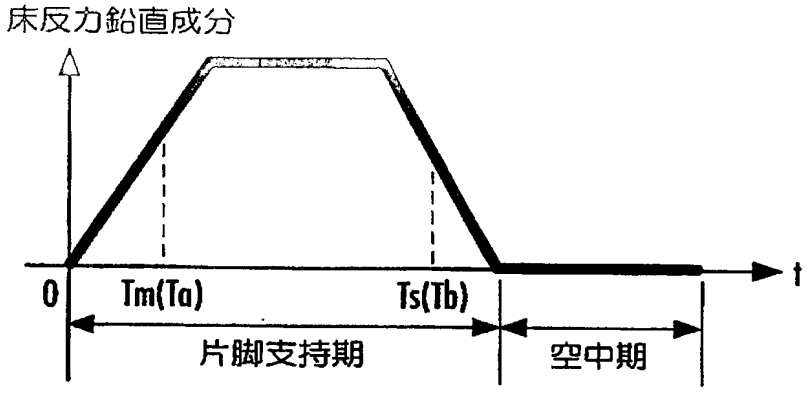
（走行歩容）



【図６】

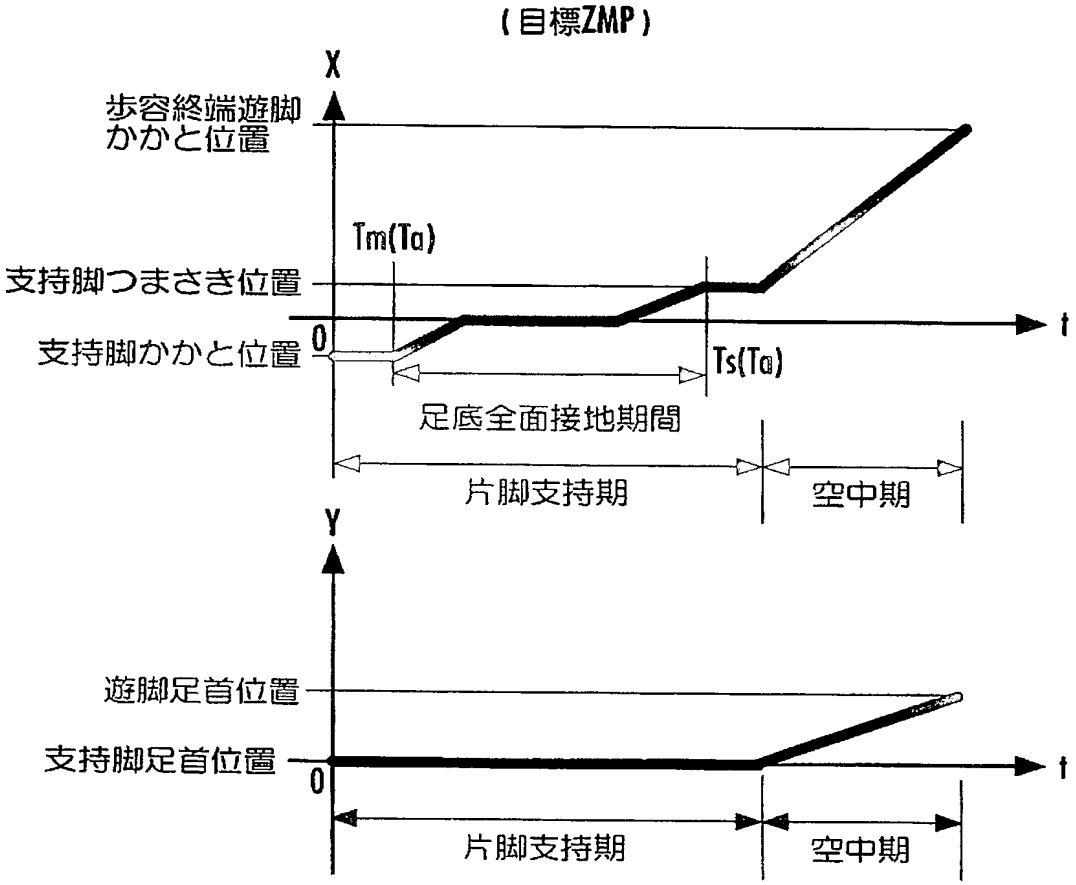
FIG.6

（目標床反力鉛直成分）



【図７】

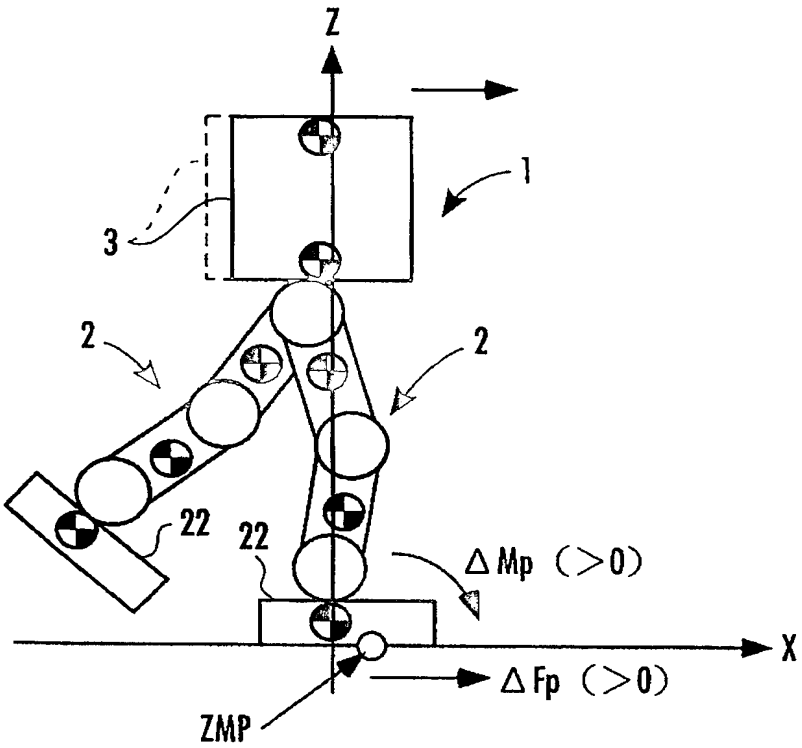
FIG.7


(目標ZMP)
X
歩容終端遊脚
かかと位置
Tm(Ta)
支持脚つまさき位置
支持脚かかと位置
0
t
Ts(Ta)
足底全面接地期間
片脚支持期
空中期
Y
遊脚足首位置
支持脚足首位置
0
t
片脚支持期
空中期

【図８】

FIG.8

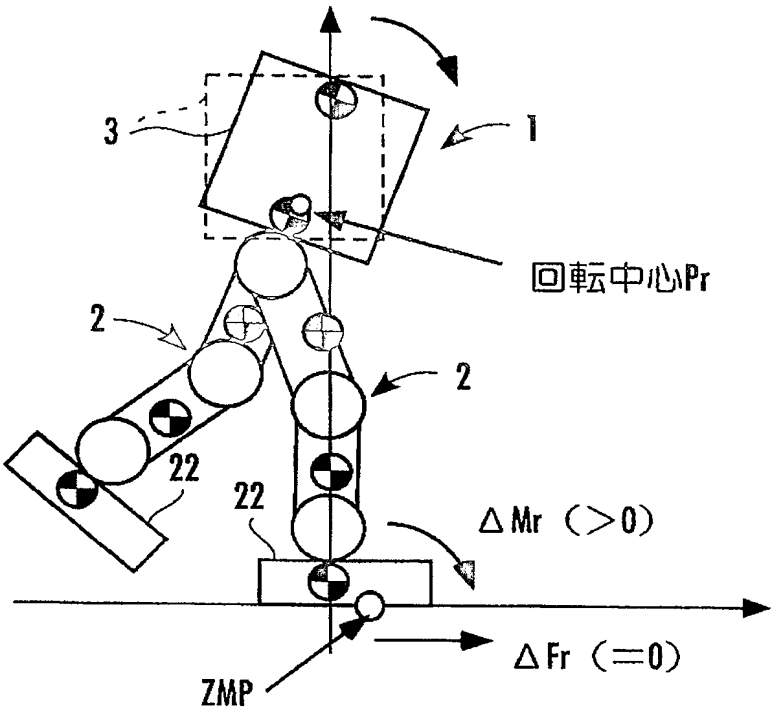
（上体並進モード）



【図９】

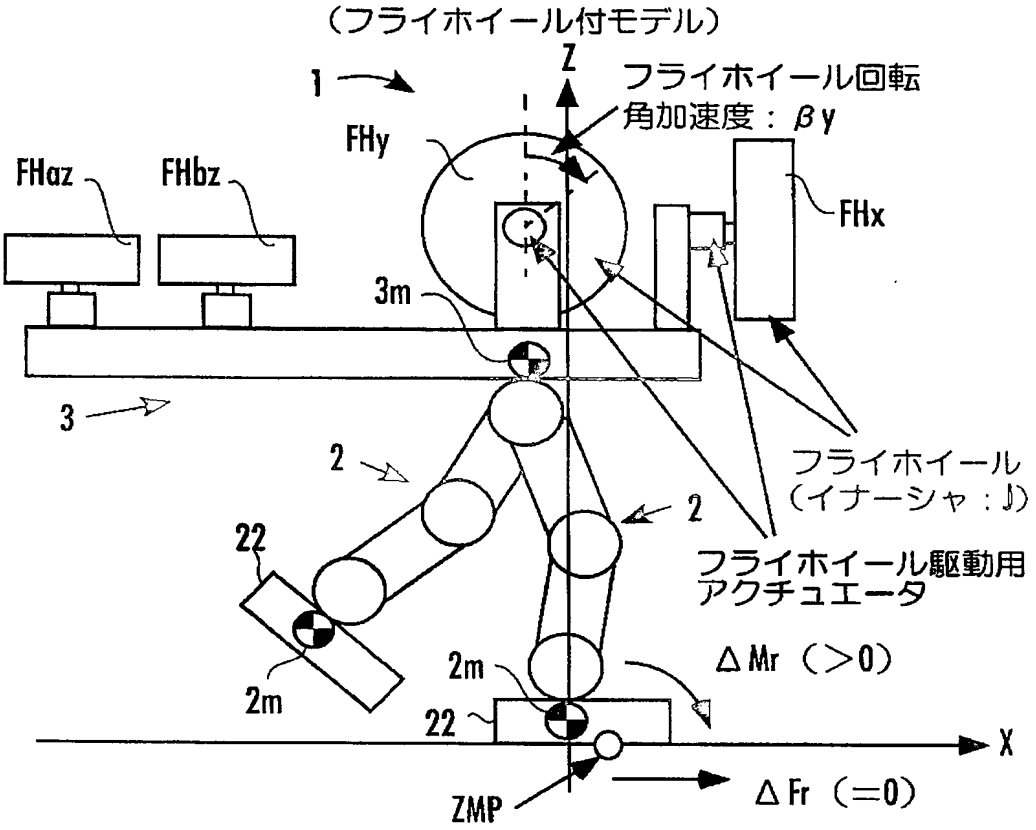
FIG.9

（上体回転モード）



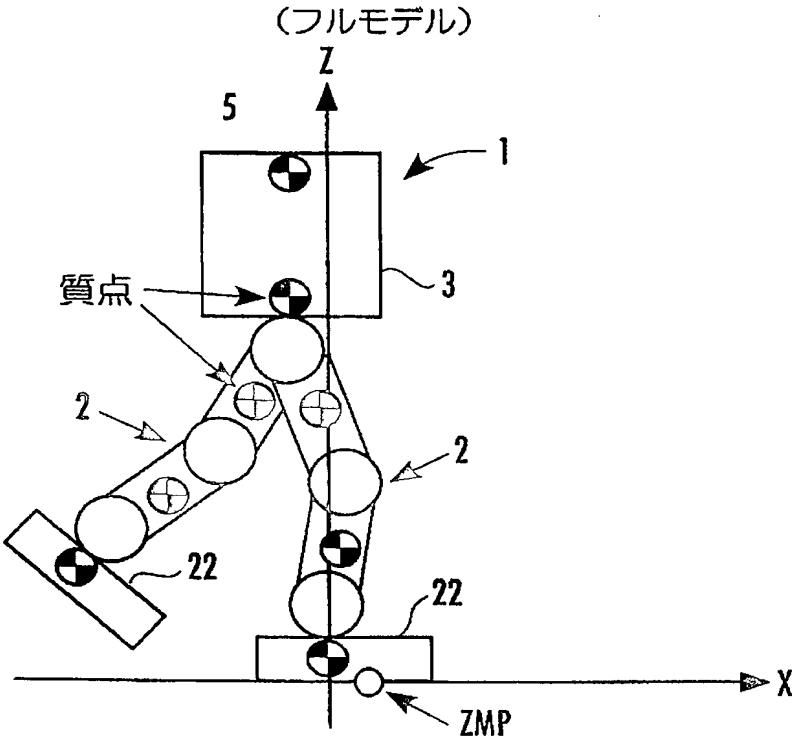
【図１０】

FIG.10


（フライホイール付モデル）
1
Z
フライホイール回転
角加速度：βy
FHy
FHaz
FHbz
FHx
3m
3
2
2
フライホイール
（イナーシャ：J）
フライホイール駆動用
アクチュエータ
22
2m
2m
ΔMr（＞0）
22
X
ZMP
ΔFr（＝0）

【図１１】

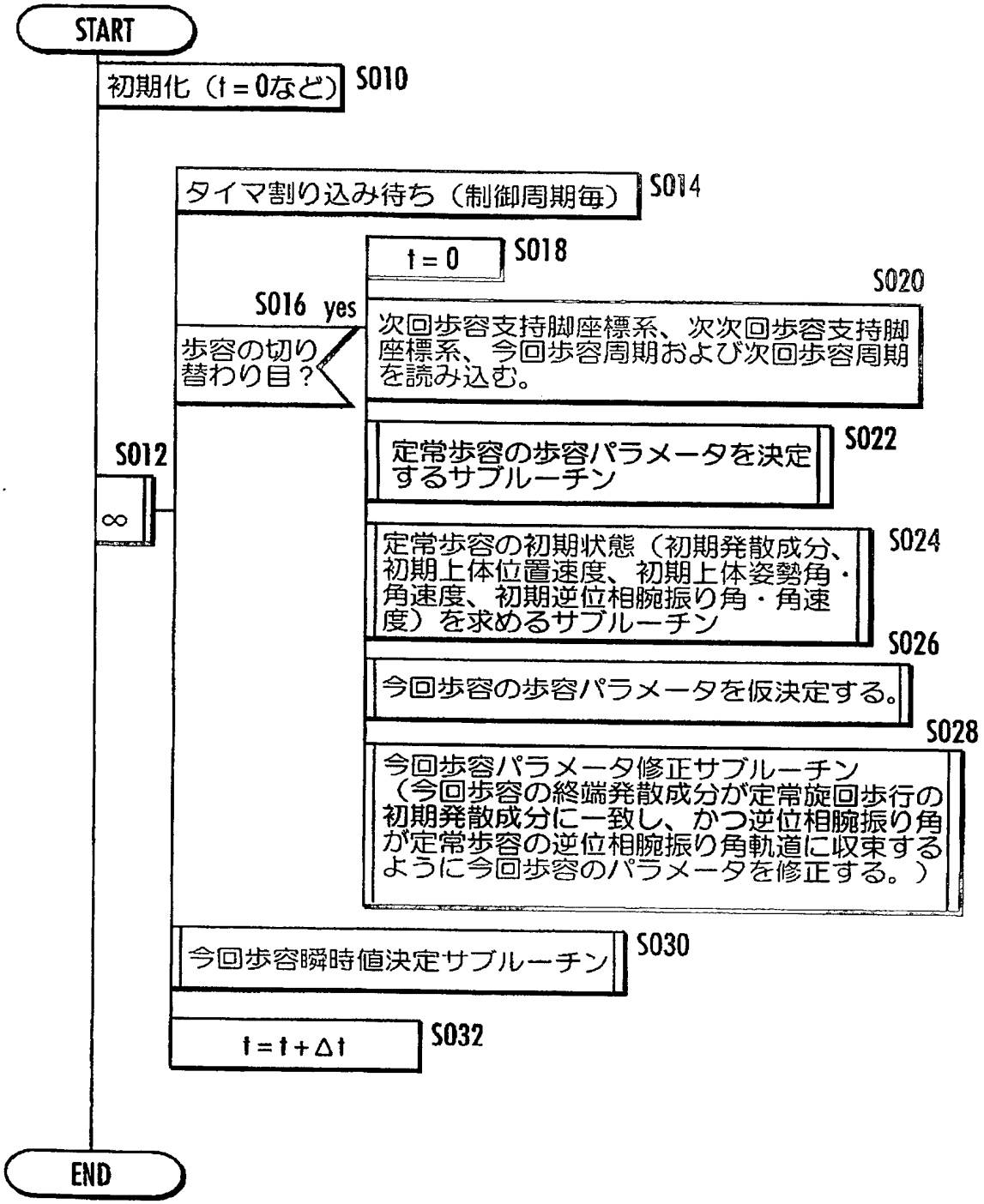
FIG.11



【図１２】

FIG.12

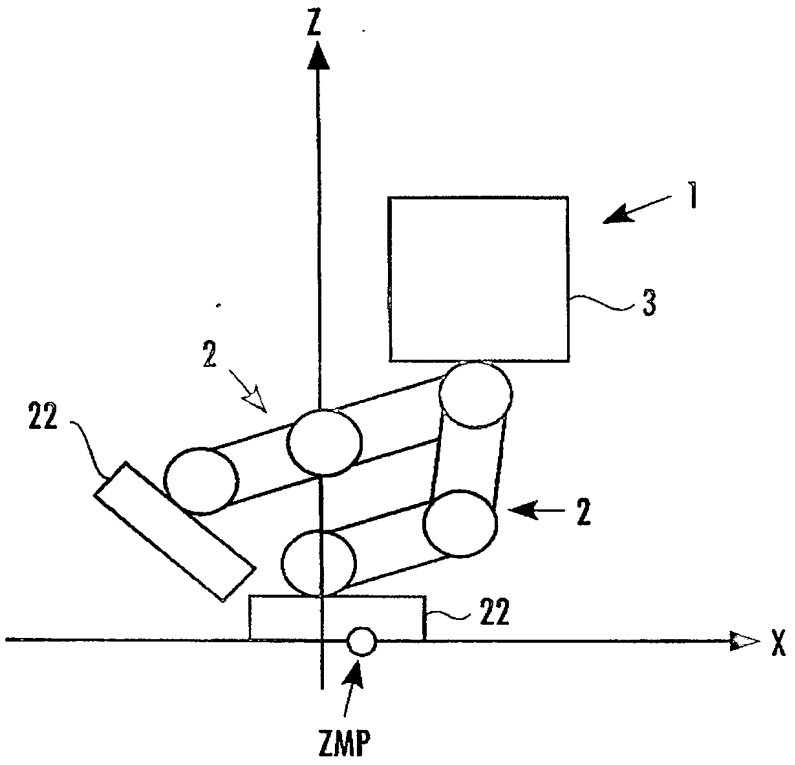
（歩容生成処理のフローチャート）



【図１３】

FIG.13

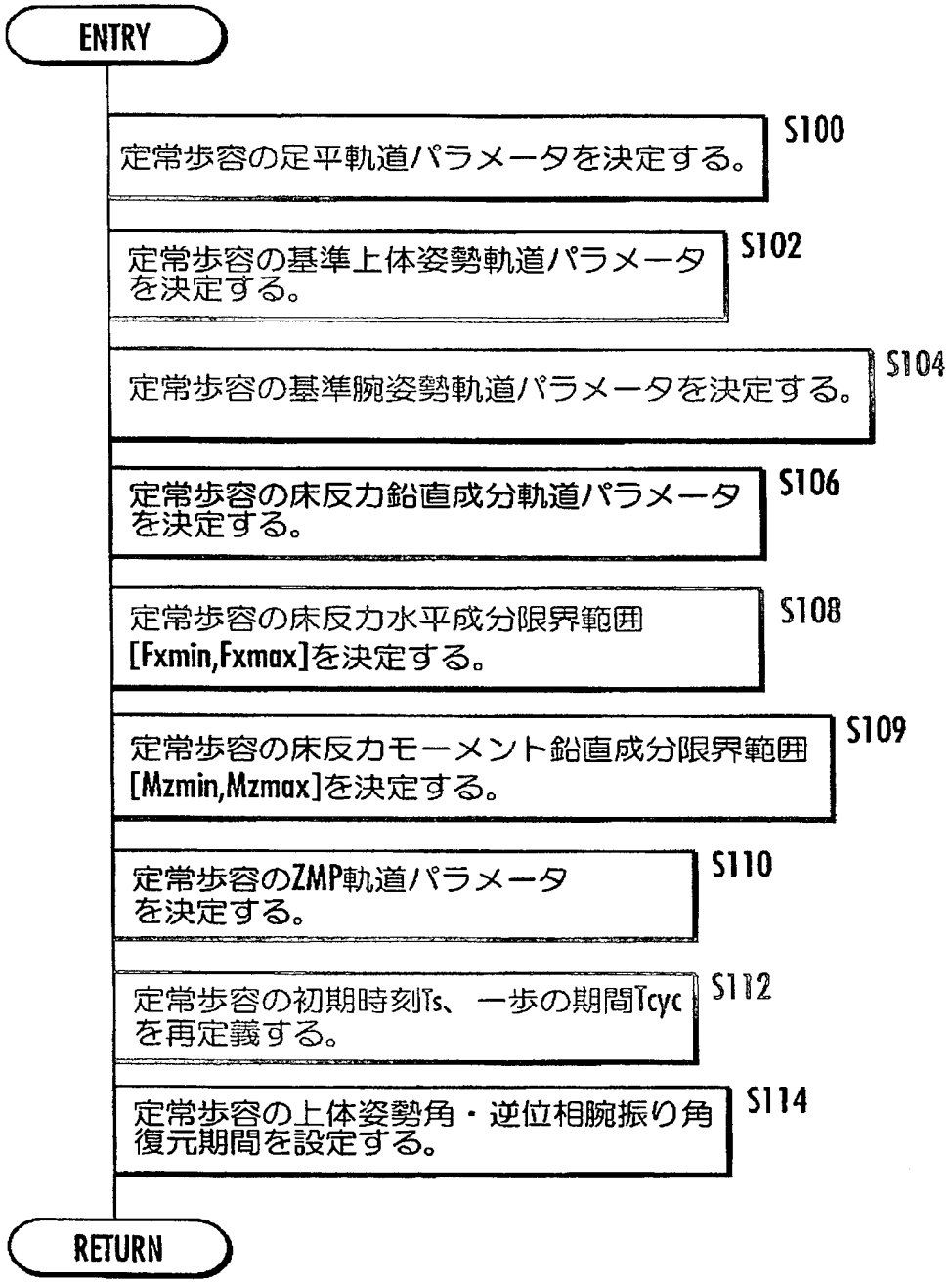
（上体位置発散状態）



【図１４】

FIG.14

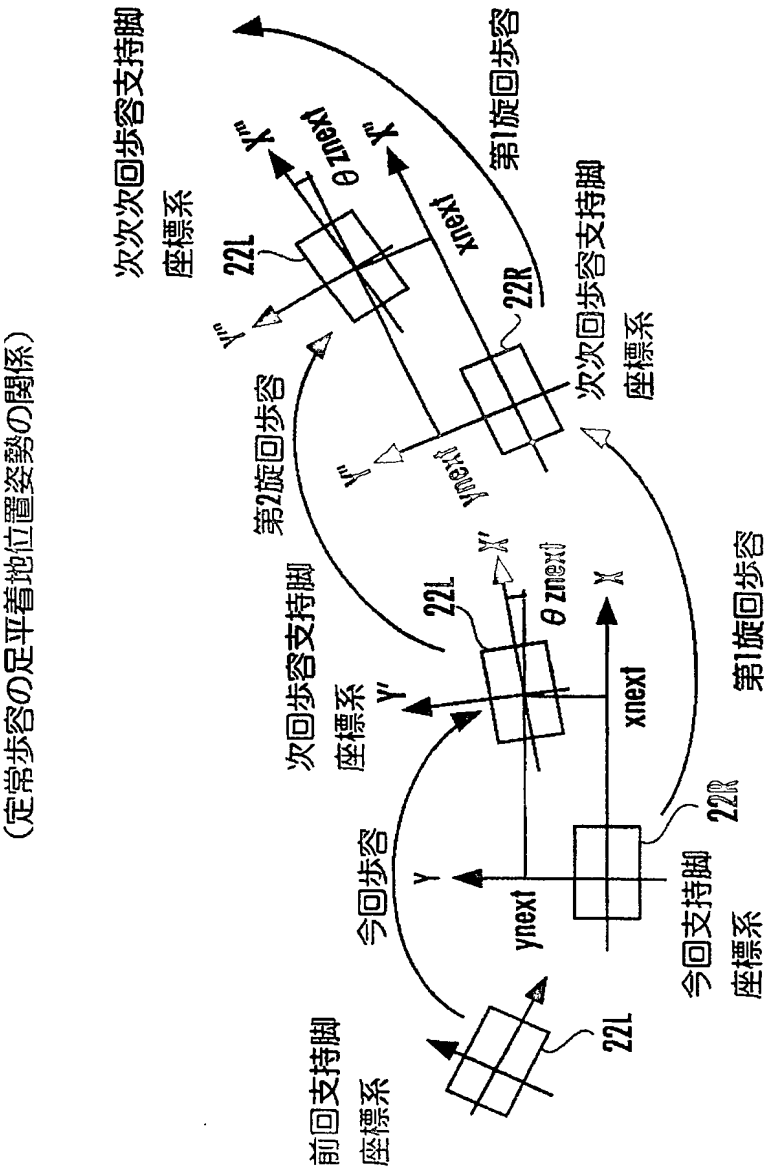
（定常歩容パラメータの決定処理）



【図１５】

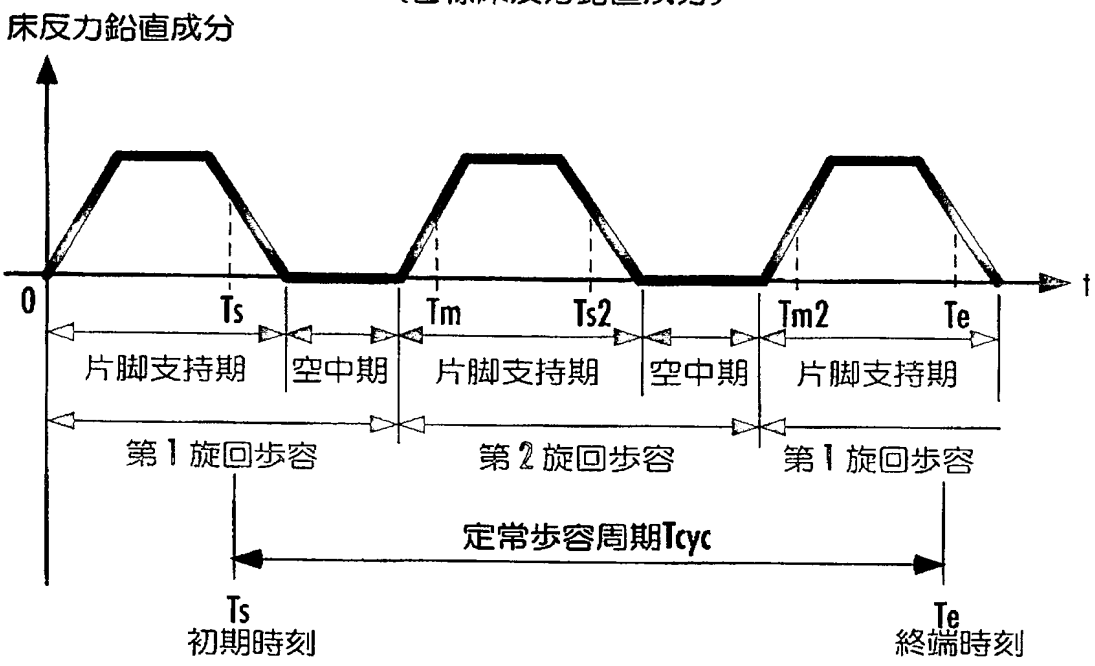
FIG. 15

(定常歩容の足平着地位置姿勢の関係)



【図１６】

FIG.16

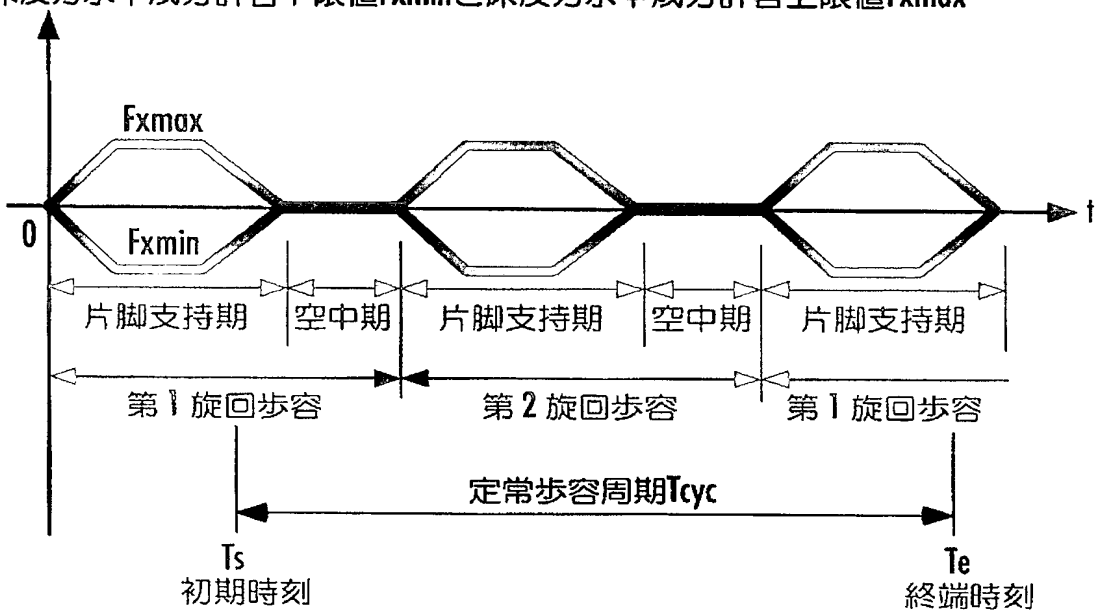

（目標床反力鉛直成分）
床反力鉛直成分
0
Ts
Tm
Ts2
Tm2
Te
t
片脚支持期
空中期
片脚支持期
空中期
片脚支持期
第１旋回歩容
第２旋回歩容
第１旋回歩容
定常歩容周期Tcyc
Ts
初期時刻
Te
終端時刻

【図１７】

FIG.17

（床反力水平成分許容範囲）

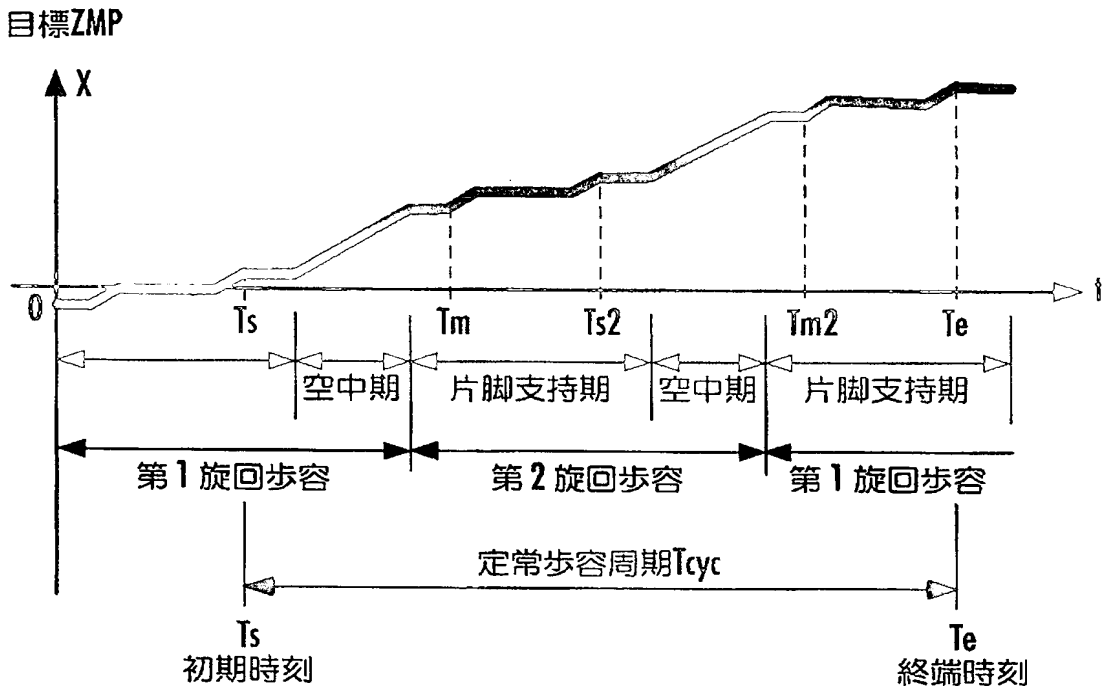
床反力水平成分許容下限値Fxminと床反力水平成分許容上限値Fxmax



【図１８】

FIG.18

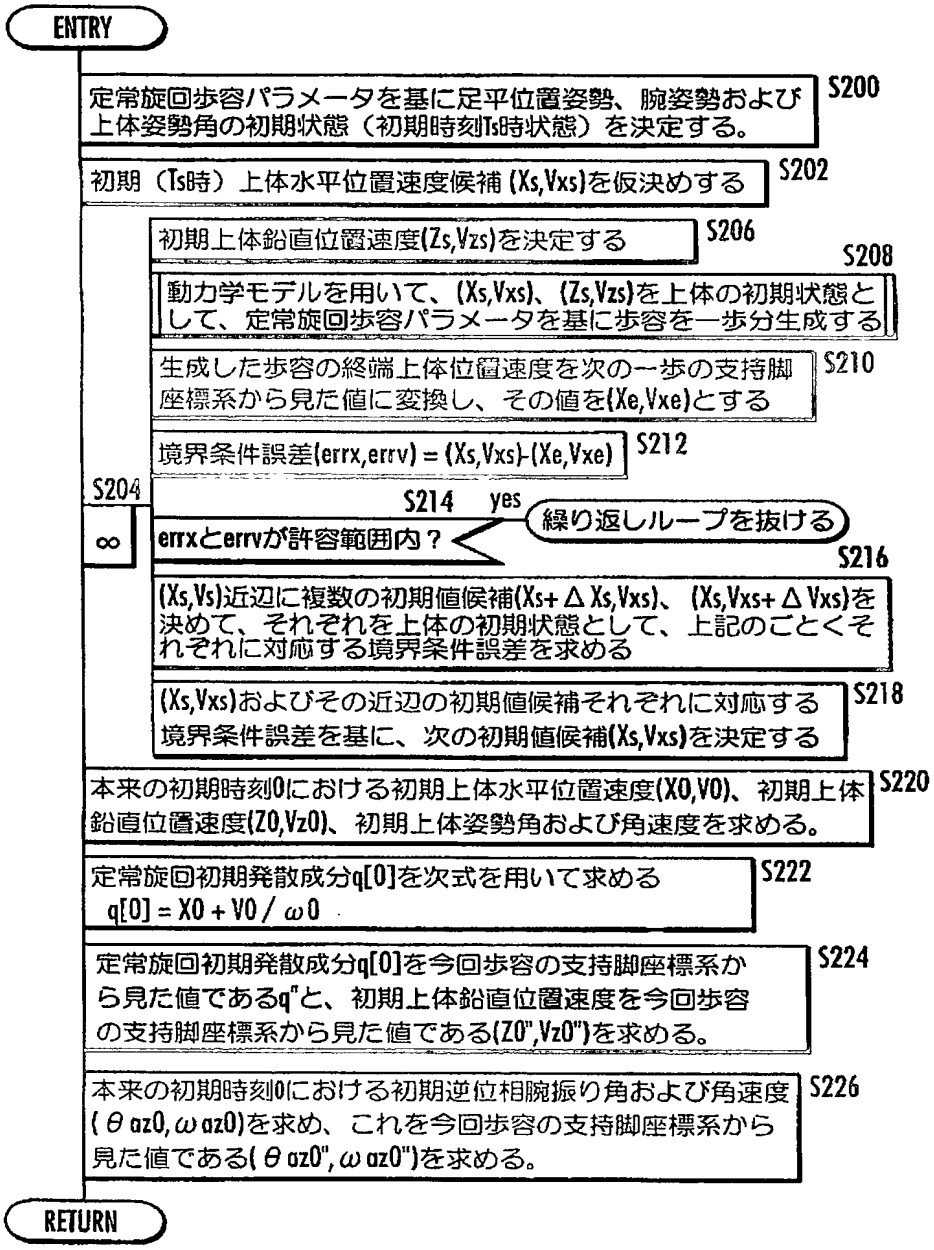
（目標ZMP）



【図１９】

FIG.19

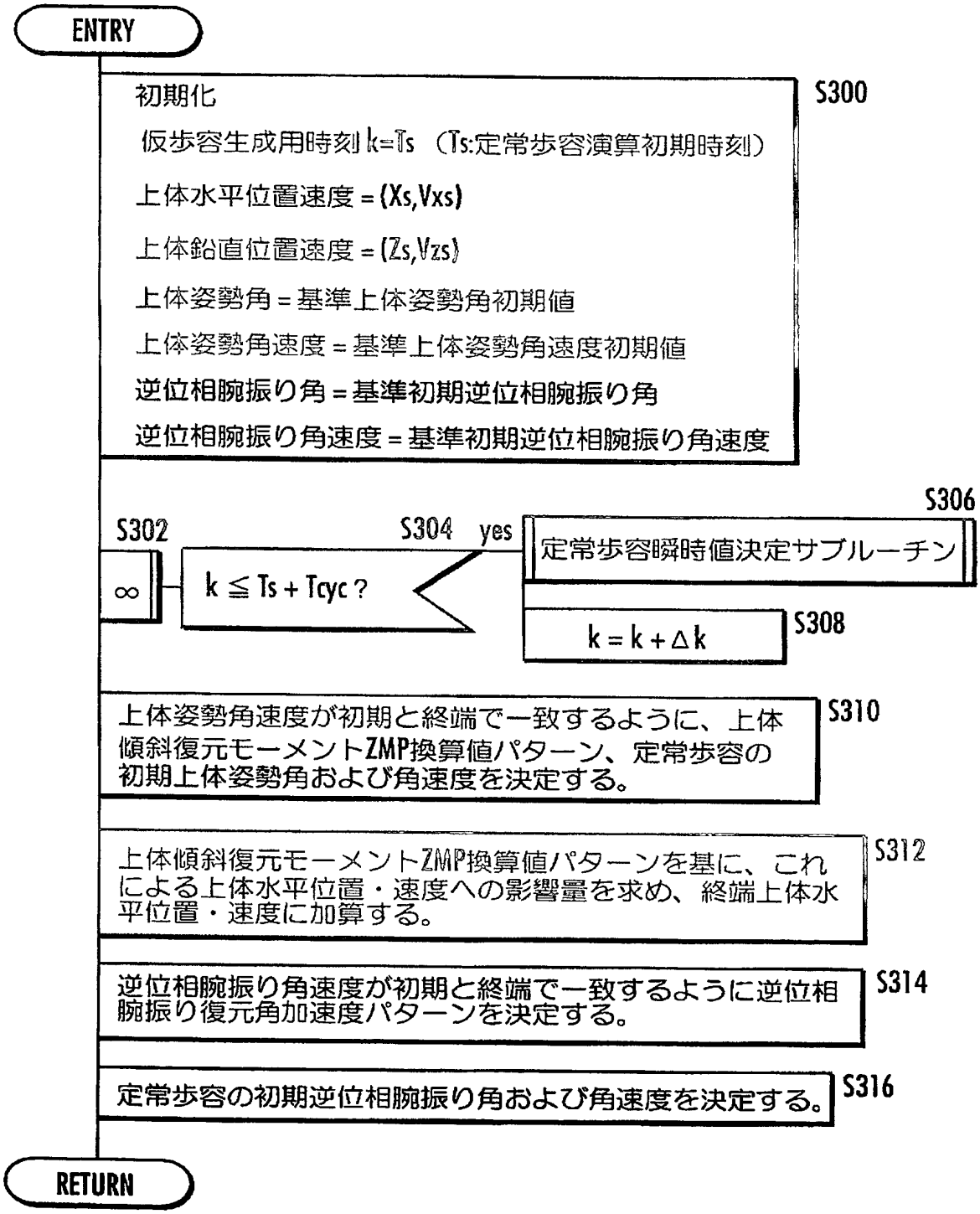
（定常歩容の初期発散成分の探索処理）



【図２０】

FIG.20

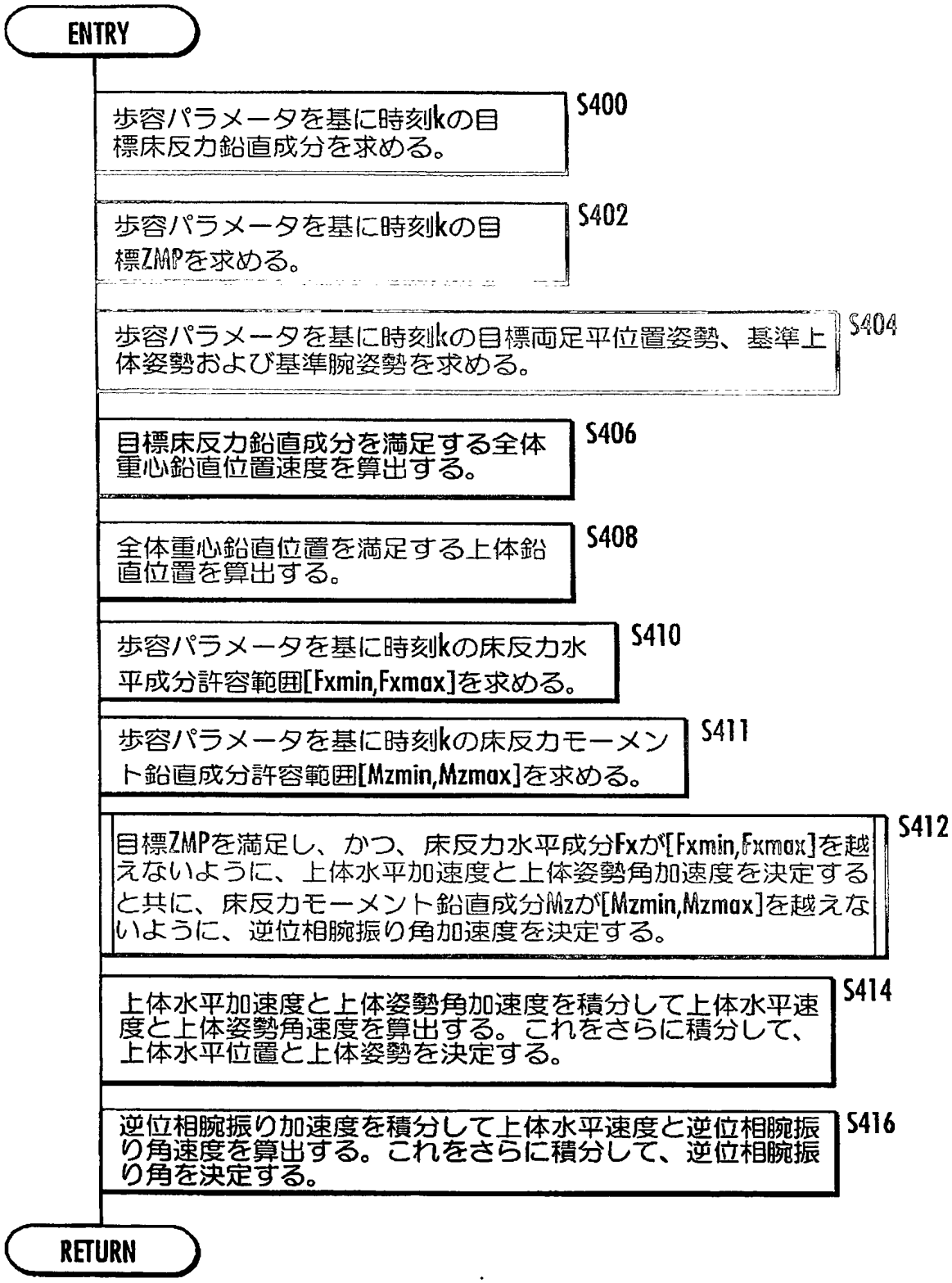
（定常歩容の仮歩容生成処理）



【図２１】

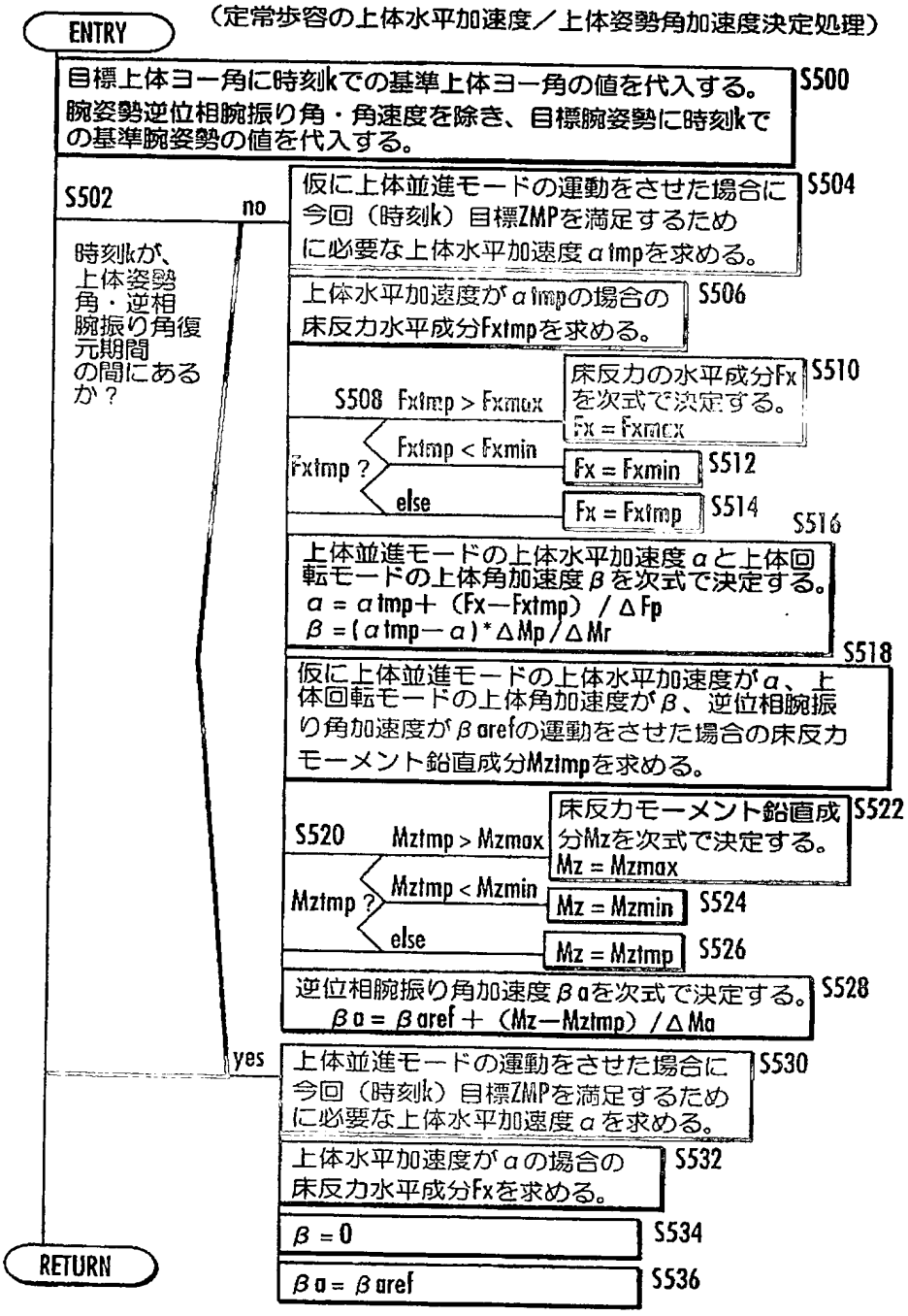
FIG.21

（定常歩容瞬時値決定処理）



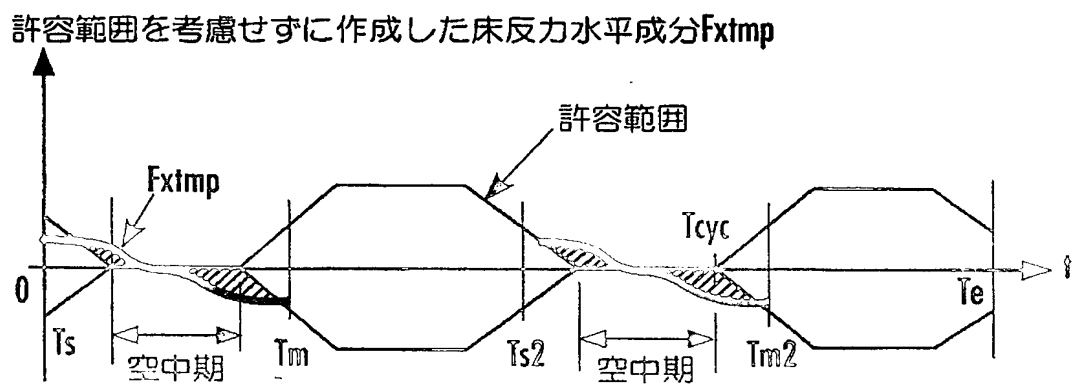
【図２２】

FIG.22


（定常歩容の上体水平加速度／上体姿勢角加速度決定処理）
ENTRY
目標上体ヨー角に時刻kでの基準上体ヨー角の値を代入する。腕姿勢逆位相腕振り角・角速度を除き、目標腕姿勢に時刻kでの基準腕姿勢の値を代入する。
S500
S502
時刻kが、上体姿勢角・逆相腕振り角復元期間の間にあるか？
no
仮に上体並進モードの運動をさせた場合に今回（時刻k）目標ZMPを満足するために必要な上体水平加速度αtmpを求める。
S504
上体水平加速度がαtmpの場合の床反力水平成分Fxtmpを求める。
S506
S508 Fxtmp > Fxmax
床反力の水平成分Fxを次式で決定する。
Fx = Fxmax
S510
Fxtmp ?
Fxtmp < Fxmin
Fx = Fxmin
S512
else
Fx = Fxtmp
S514
上体並進モードの上体水平加速度αと上体回転モードの上体角加速度βを次式で決定する。
α = αtmp＋（Fx－Fxtmp）／ΔFp
β =（αtmp－α）*ΔMp／ΔMr
S516
仮に上体並進モードの上体水平加速度がα、上体回転モードの上体角加速度がβ、逆位相腕振り角加速度がβarefの運動をさせた場合の床反力モーメント鉛直成分Mztmpを求める。
S518
S520 Mztmp > Mzmax
床反力モーメント鉛直成分Mzを次式で決定する。
Mz = Mzmax
S522
Mztmp ?
Mztmp < Mzmin
Mz = Mzmin
S524
else
Mz = Mztmp
S526
逆位相腕振り角加速度βαを次式で決定する。
βα = βaref ＋（Mz－Mztmp）／ΔMα
S528
yes
上体並進モードの運動をさせた場合に今回（時刻k）目標ZMPを満足するために必要な上体水平加速度αを求める。
S530
上体水平加速度がαの場合の床反力水平成分Fxを求める。
S532
β = 0
S534
βα = βaref
S536
RETURN

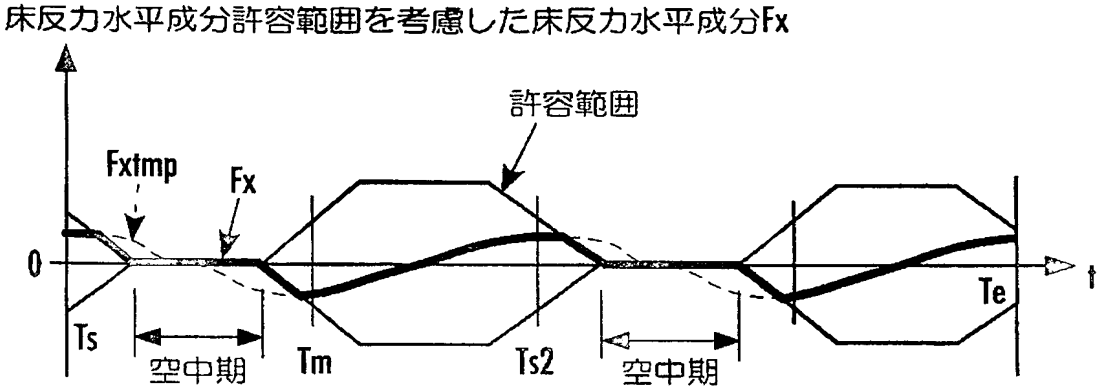
【図２３】

FIG.23



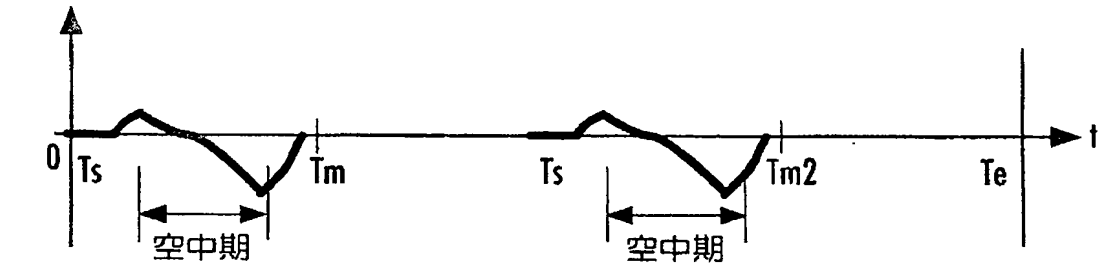
【図２４】

FIG.24



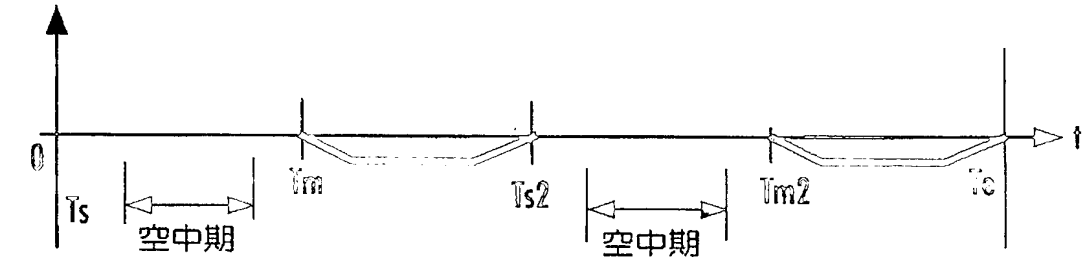
【図２５】

FIG.25



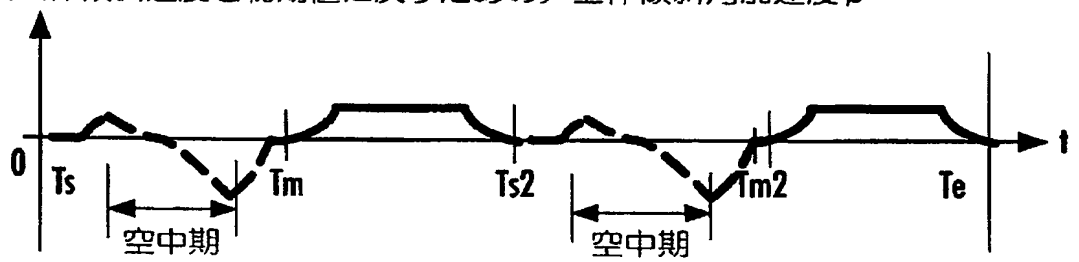
【図２６】

FIG.26



【図２７】

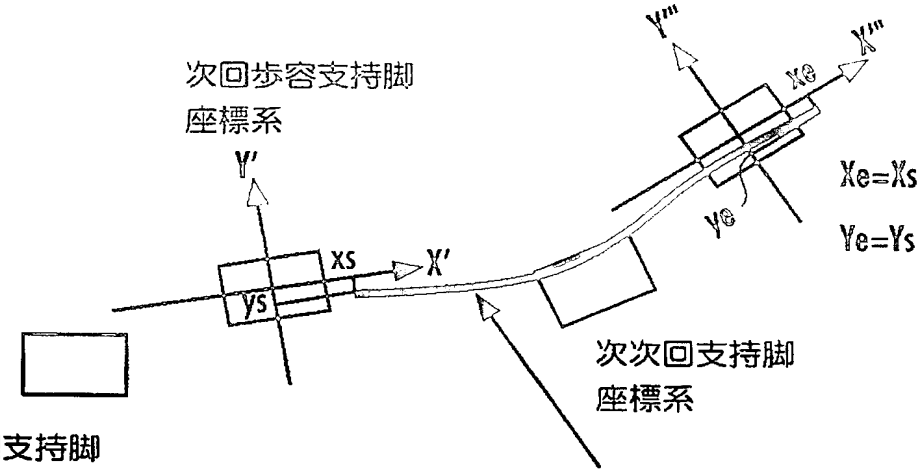
FIG.27



【図２８】

FIG.28

（定常歩容の着地時上体位置の関係）

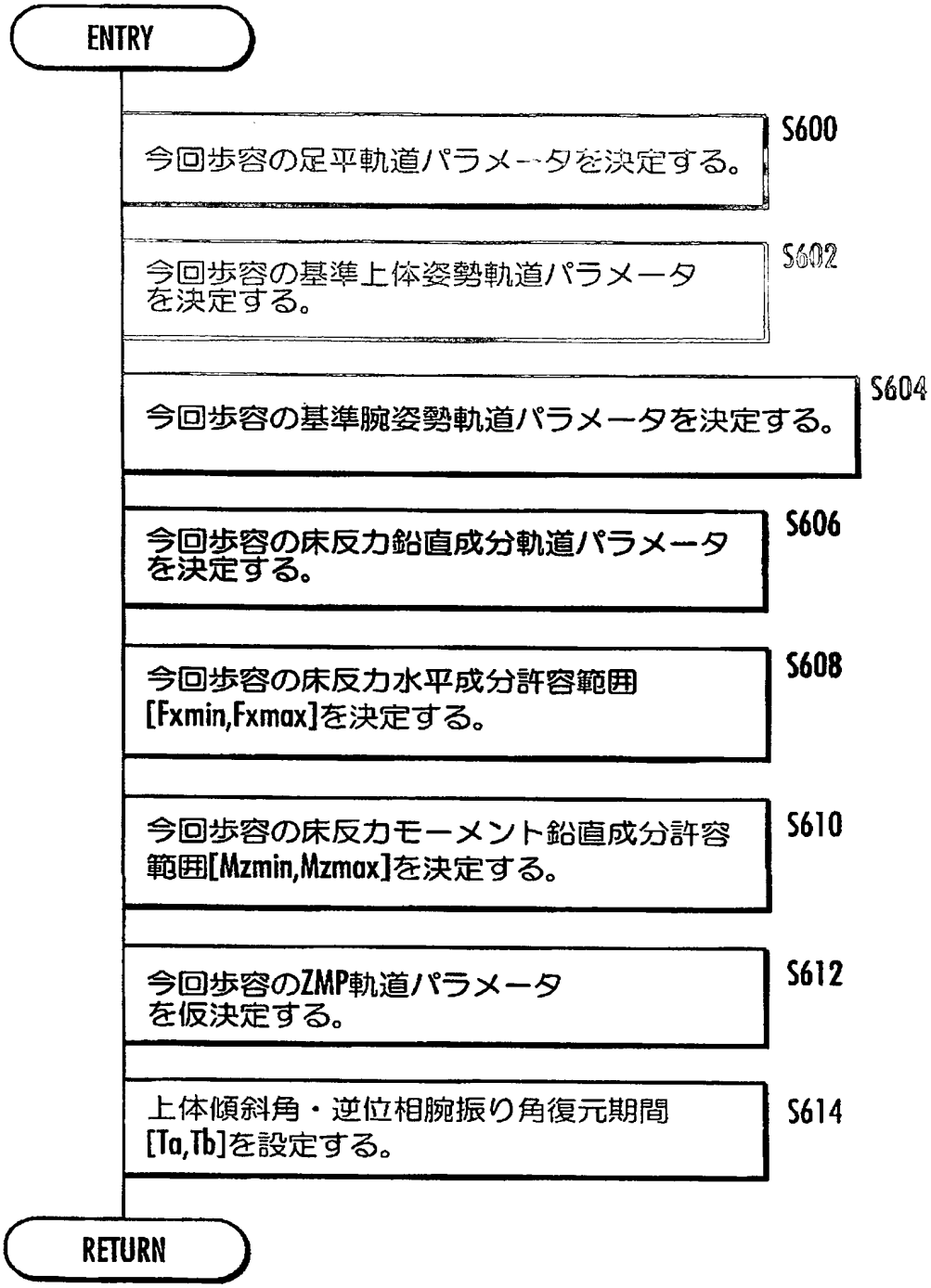


定常歩容（第1旋回歩容＋第2旋回歩容）
の上体軌道

【図２９】

FIG.29

（今回歩容パラメータの仮決定処理）

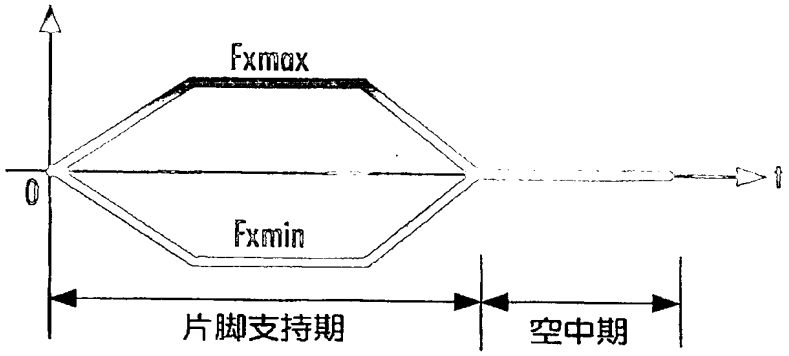


【図３０】

FIG.30

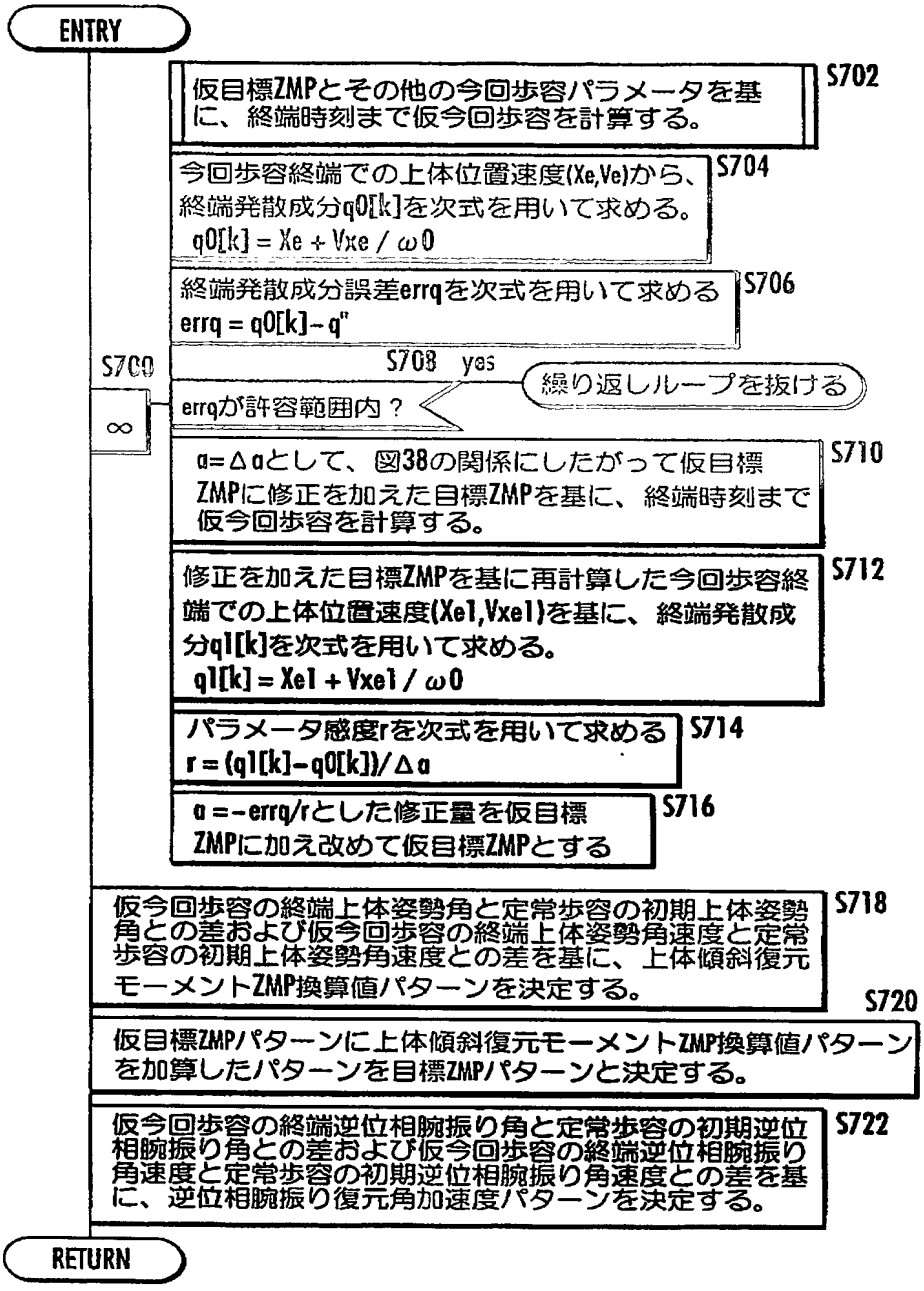
（床反力水平成分許容範囲）

床反力水平成分許容下限値Fxminと床反力水平成分許容上限値Fxmax



【図３１】

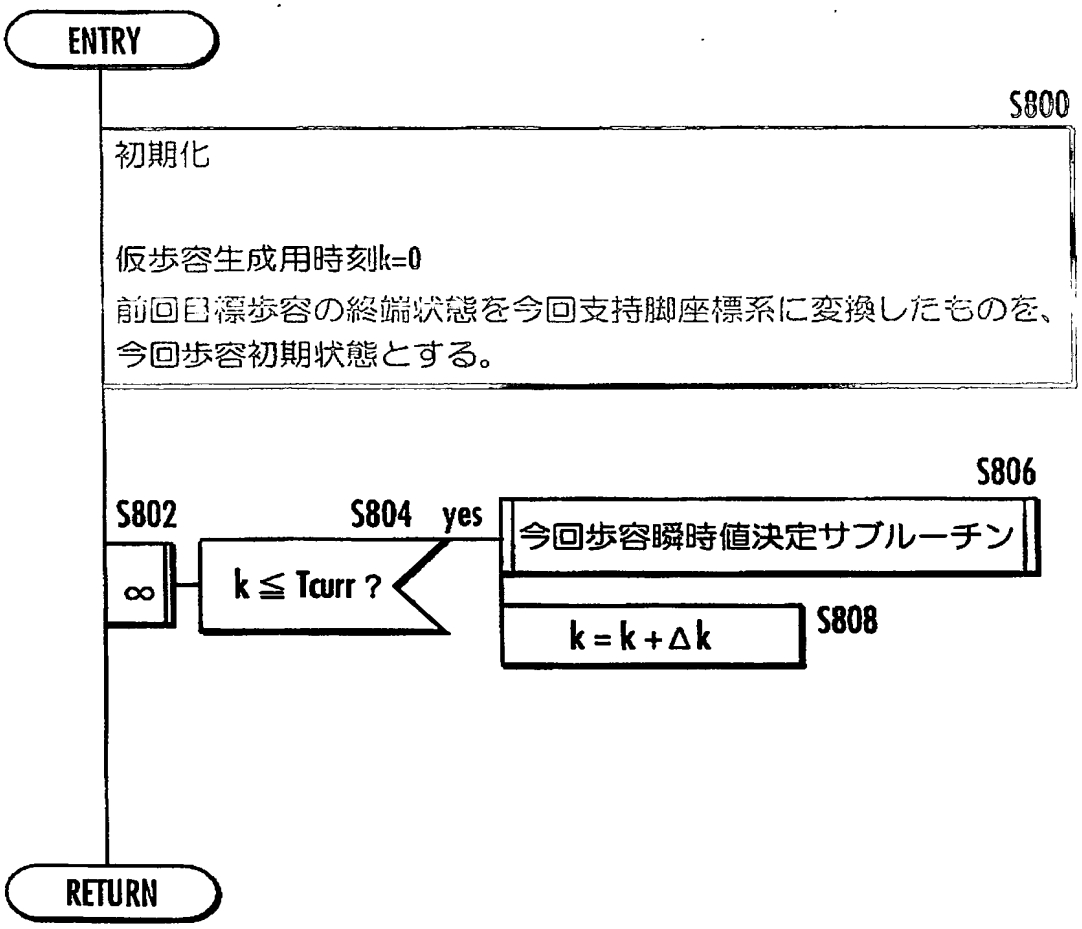
FIG.31
（探索的な今回歩容パラメータの修正処理）



【図３２】

FIG.32

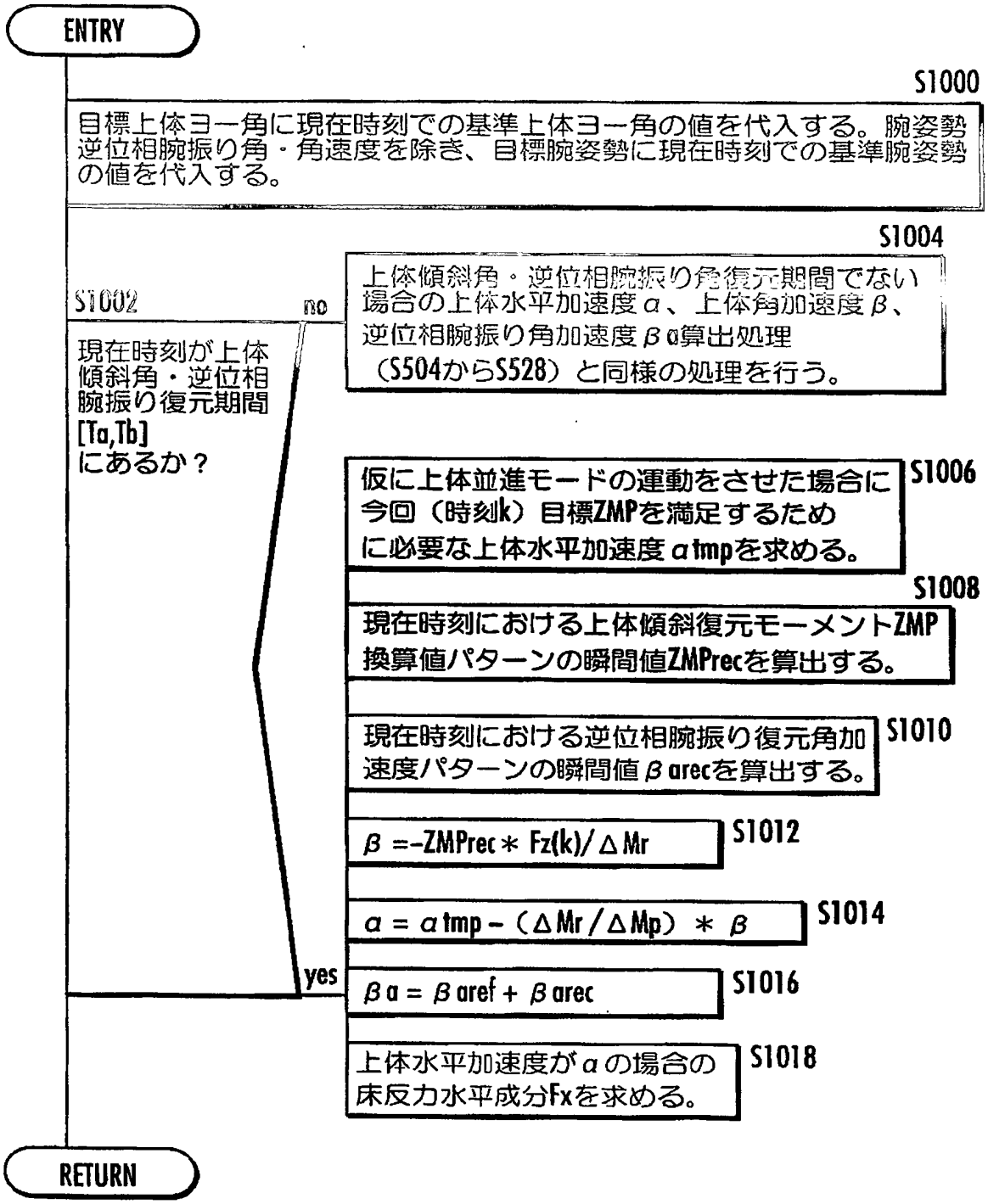
（仮今回歩容生成処理）



【図３３】

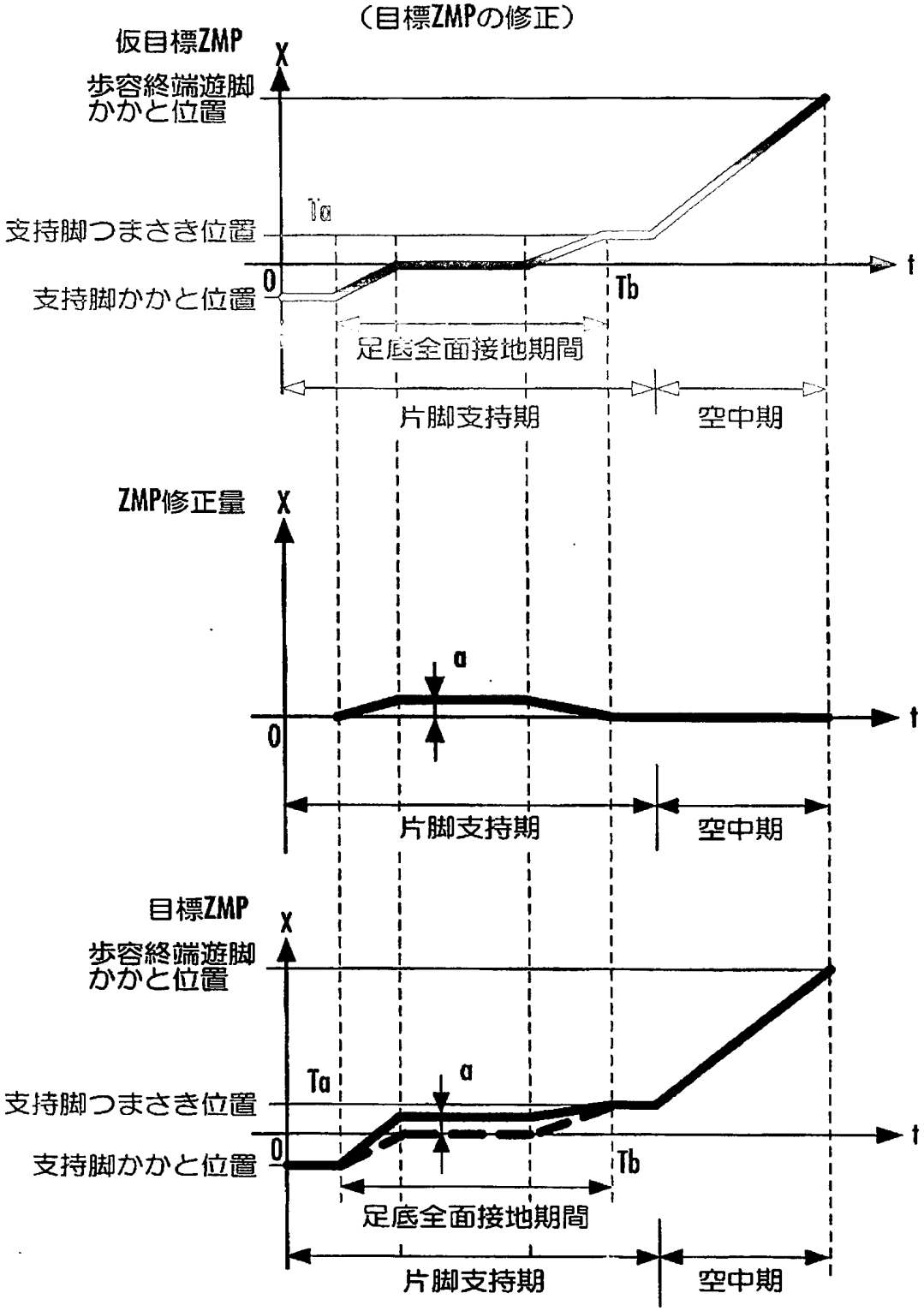
FIG.33

（今回歩容の上体水平加速度／上体姿勢角加速度決定処理）



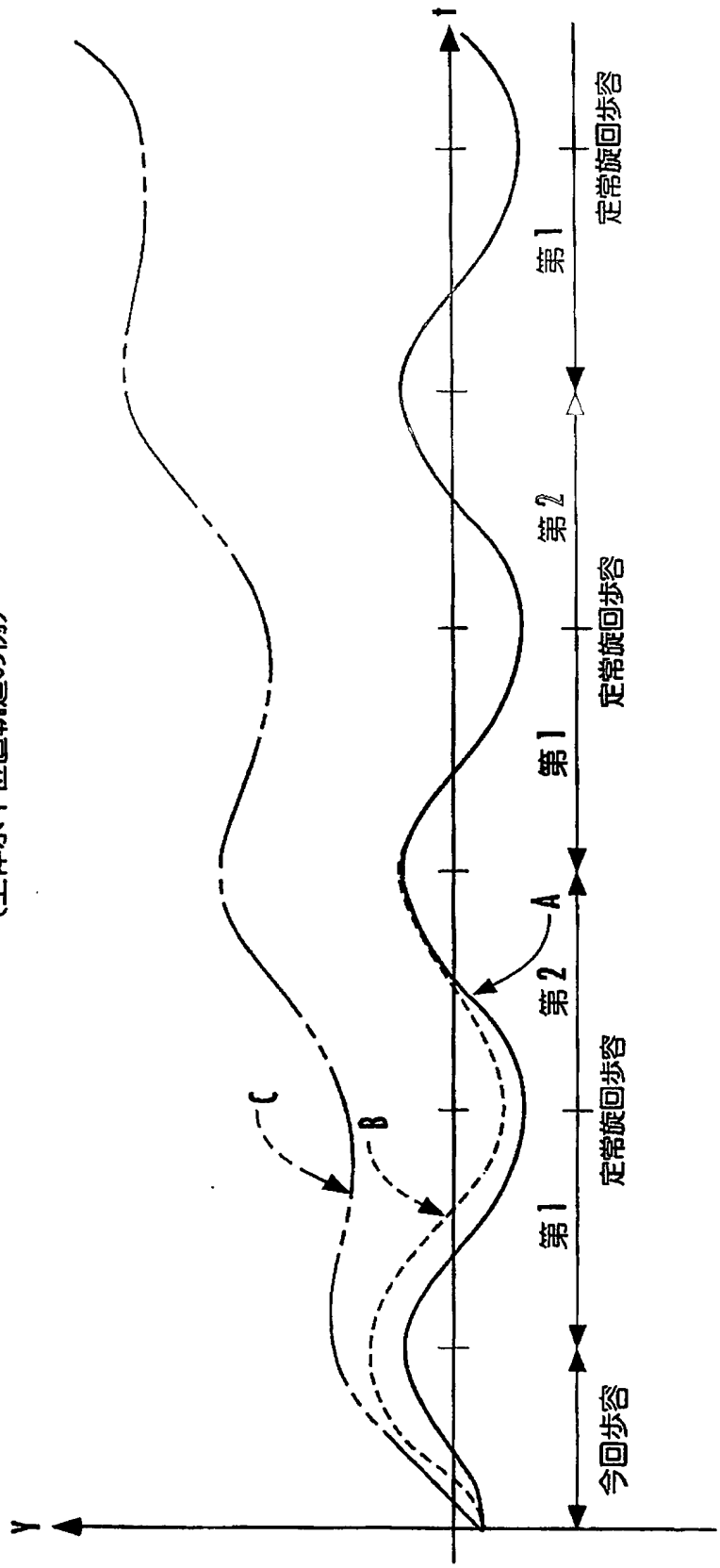
【図３４】

FIG.34


（目標ZMPの修正）
仮目標ZMP
X
歩容終端遊脚
かかと位置
Ta
支持脚つまさき位置
0
t
支持脚かかと位置
Tb
足底全面接地期間
片脚支持期
空中期
ZMP修正量
X
a
0
t
片脚支持期
空中期
目標ZMP
X
歩容終端遊脚
かかと位置
Ta
a
支持脚つまさき位置
0
t
支持脚かかと位置
Tb
足底全面接地期間
片脚支持期
空中期

【図３５】

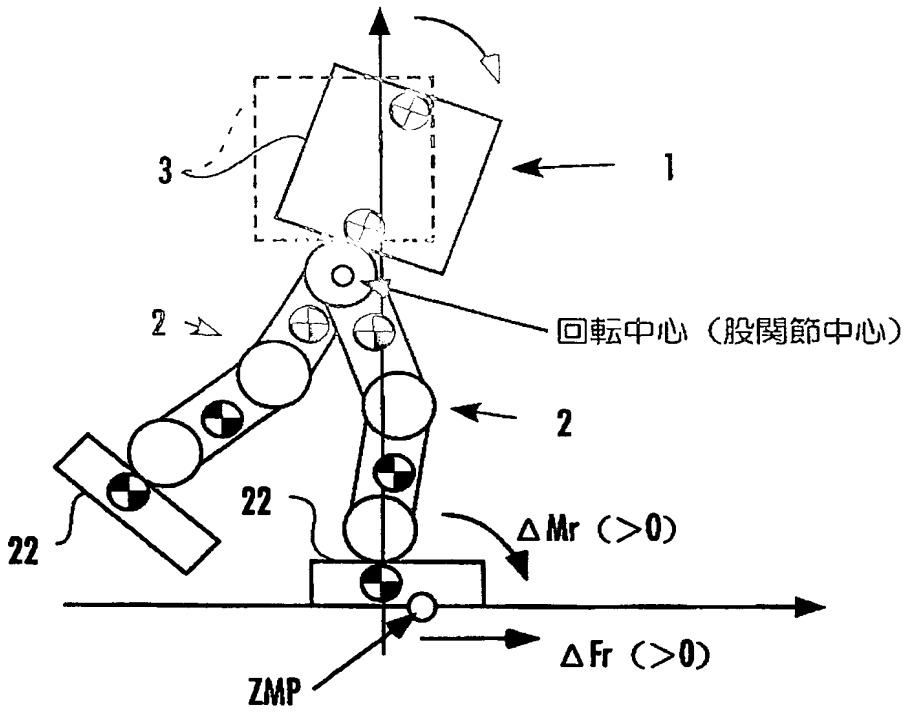
FIG.35
（上体水平位置軌道の例）



【図３６】

FIG.36

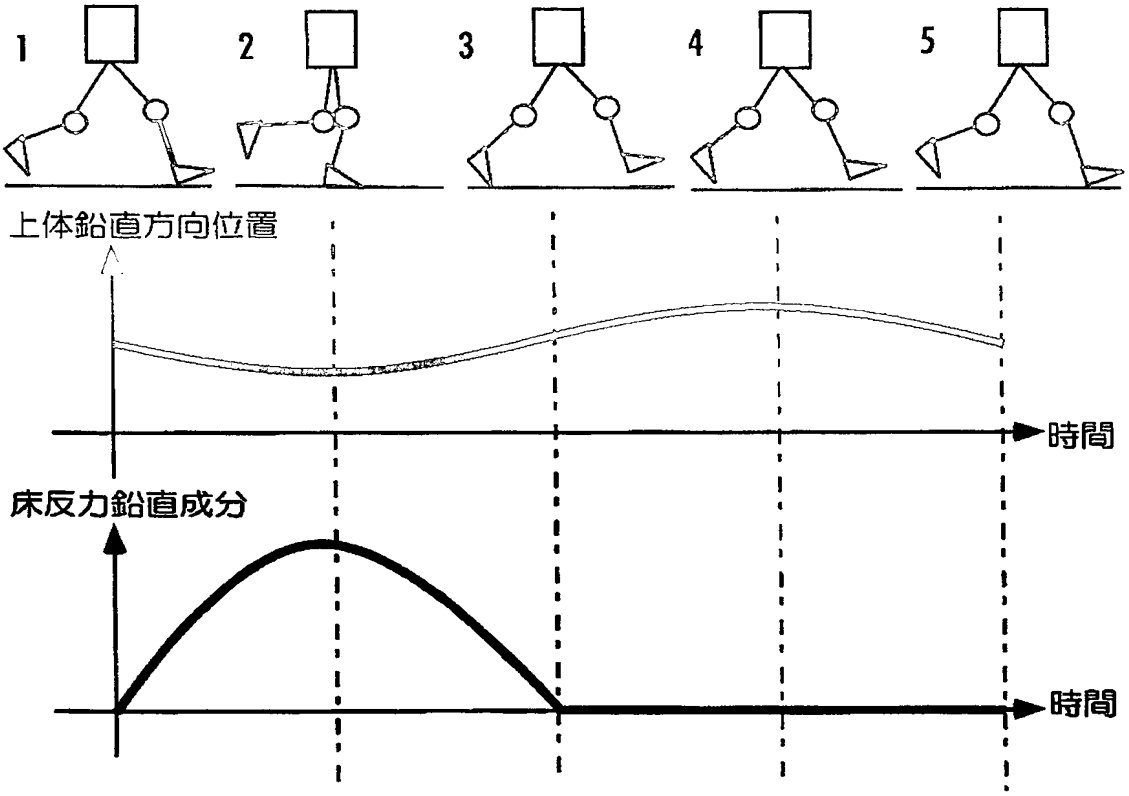
（腰中心の上体傾斜）



【図３７】

FIG.37

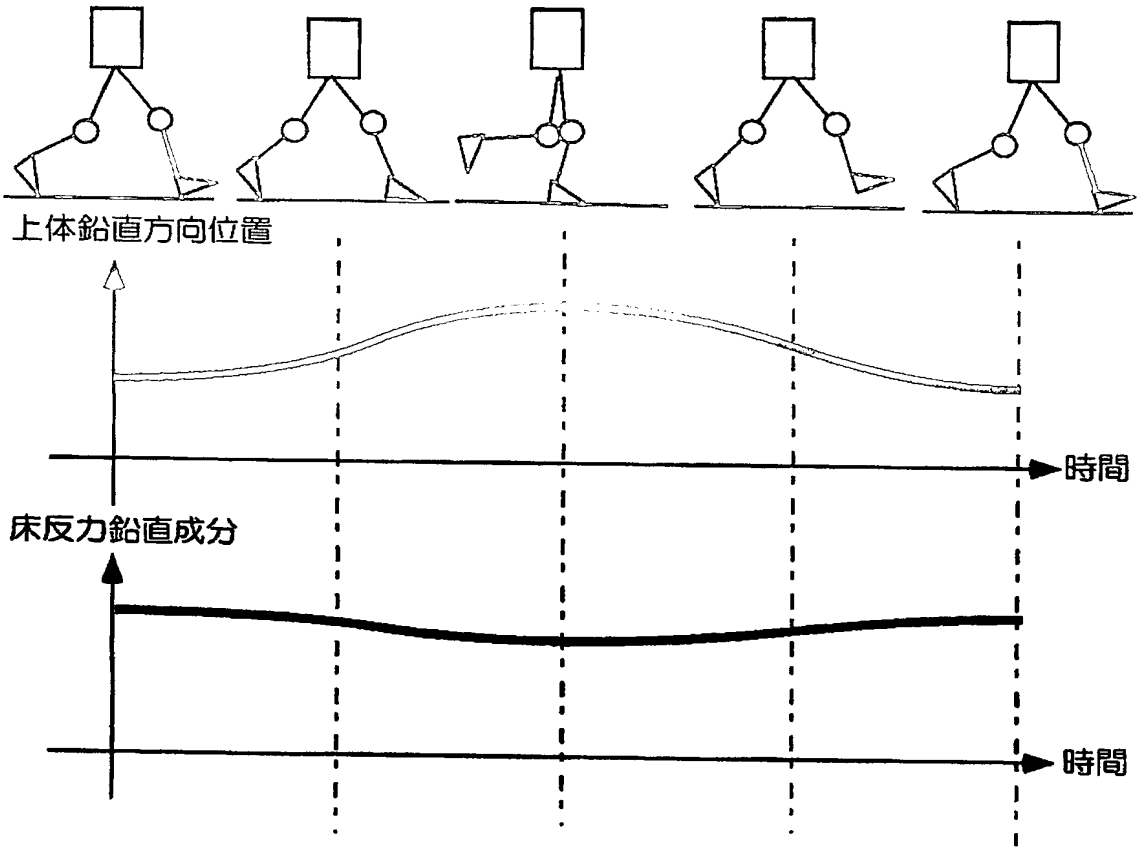
（走行歩容）



【図３８】

FIG.38

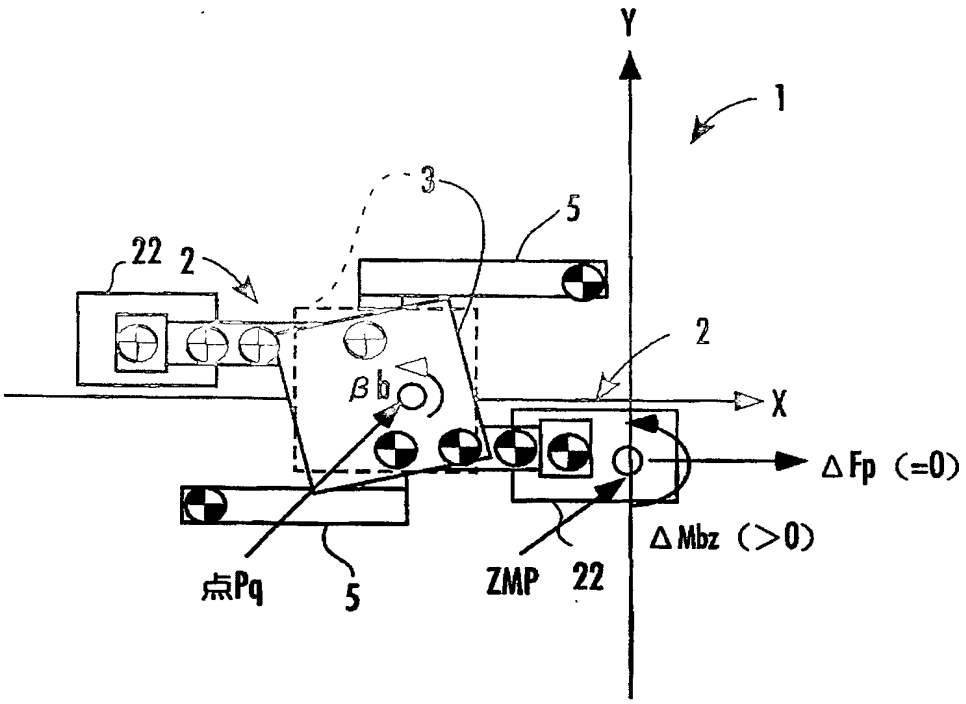
（歩行歩容）



【図３９】

FIG.39

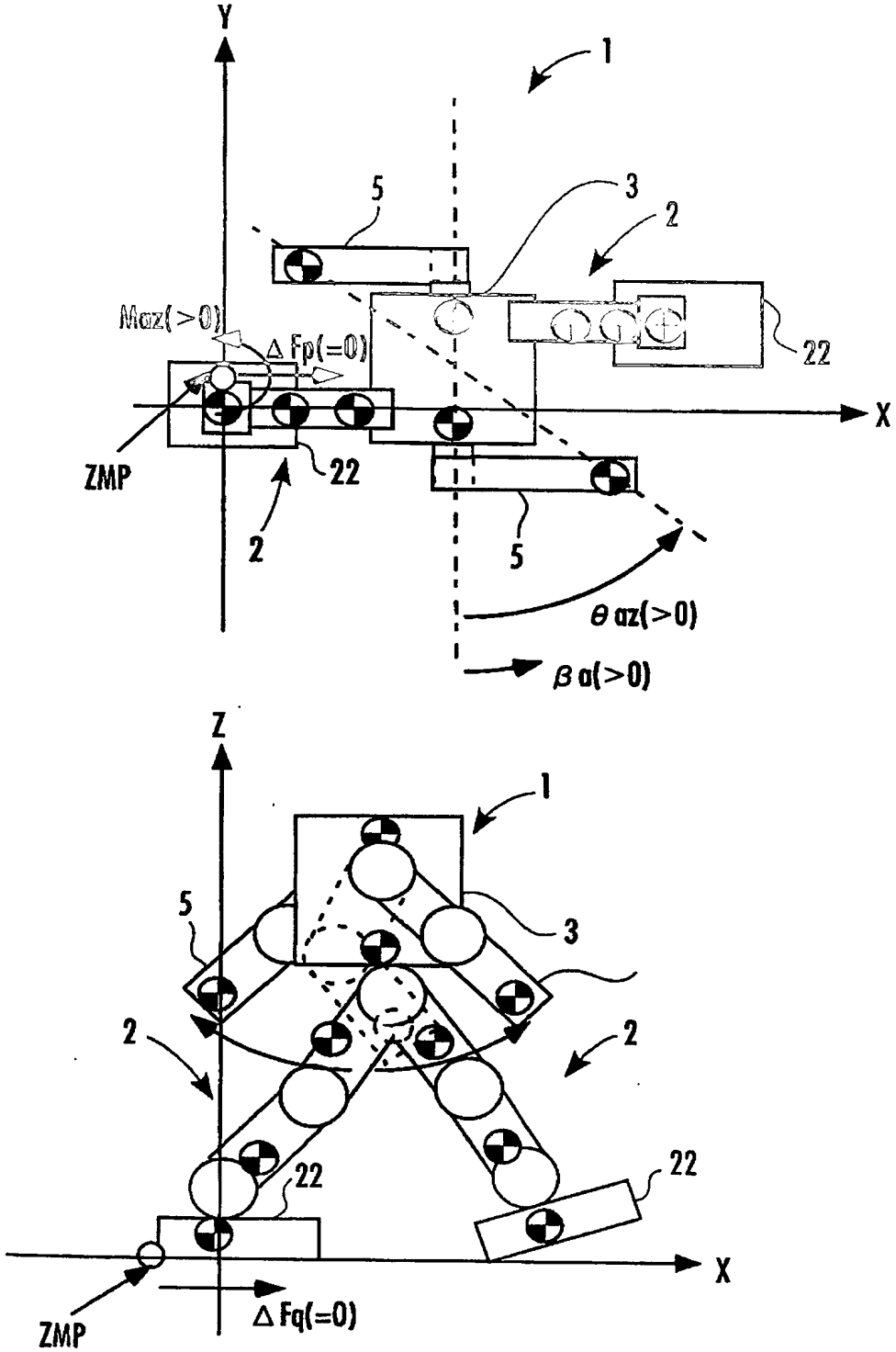
（上体ヨー回転モード）



【図４０】

FIG.40

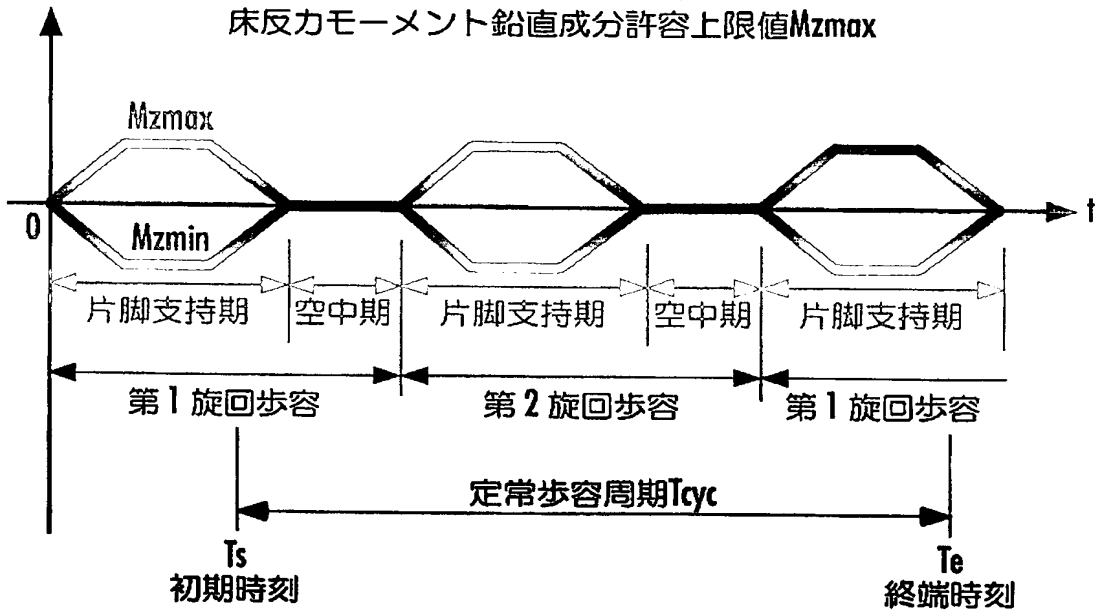
（左右逆位相腕振りモード）



【図４１】

FIG.41

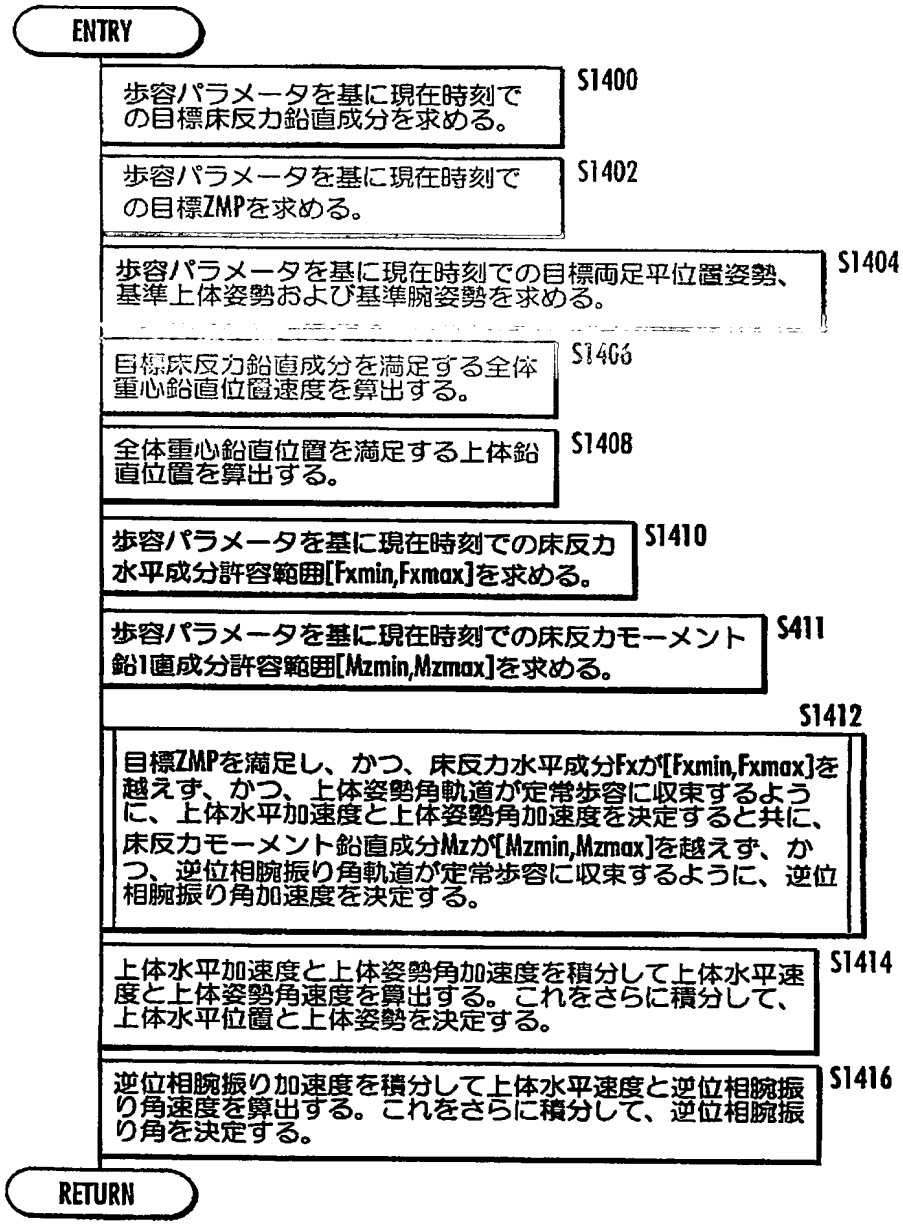
（床反力モーメント鉛直成分許容範囲）
床反力モーメント鉛直成分許容下限値Mzminと
床反力モーメント鉛直成分許容上限値Mzmax



【図４２】

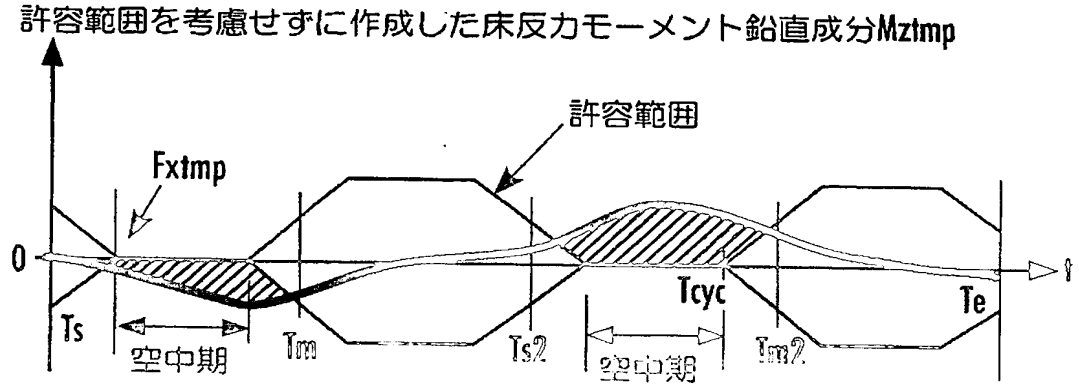
FIG.42

（今回歩容瞬時値決定処理）



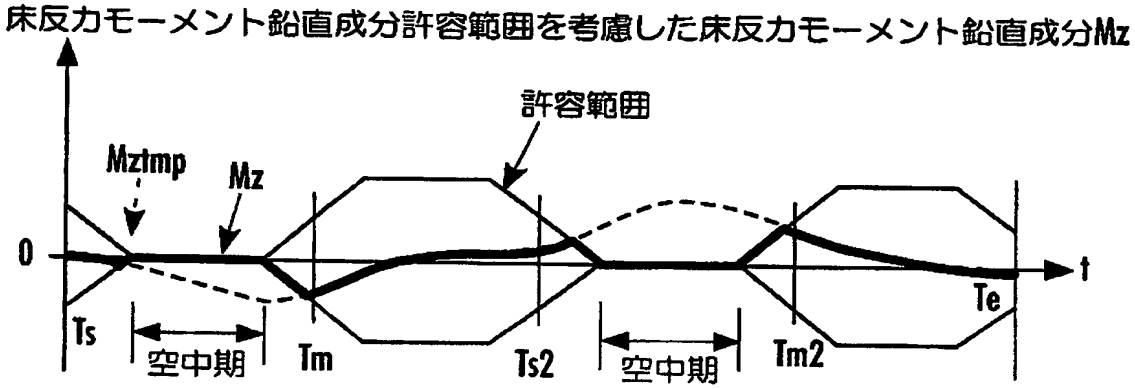
【図４３】

FIG.43



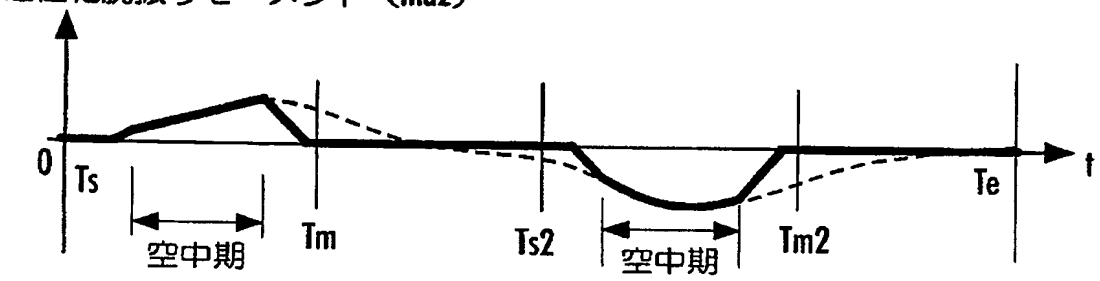
【図４４】

FIG.44



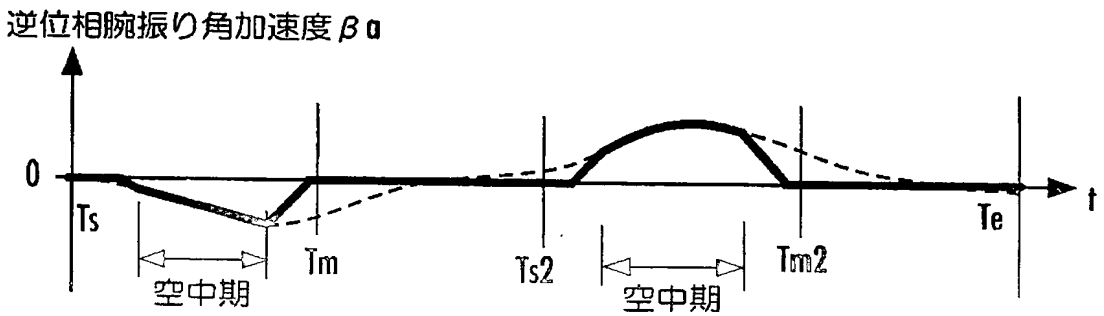
【図４５】

FIG.45



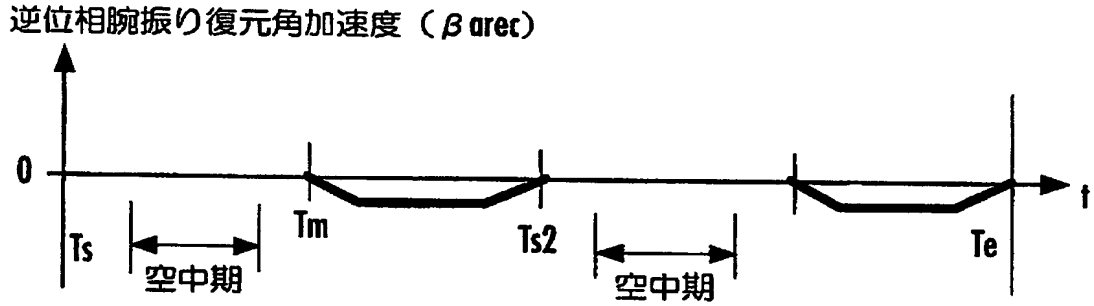
【図４６】

FIG.46



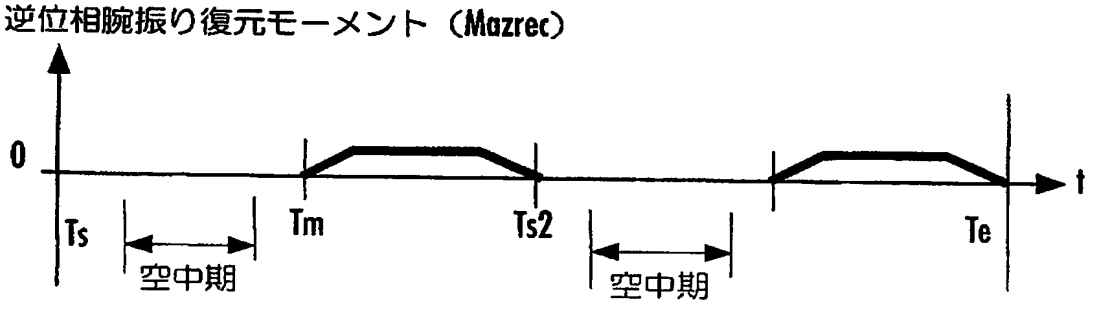
【図４７】

FIG.47



【図４８】

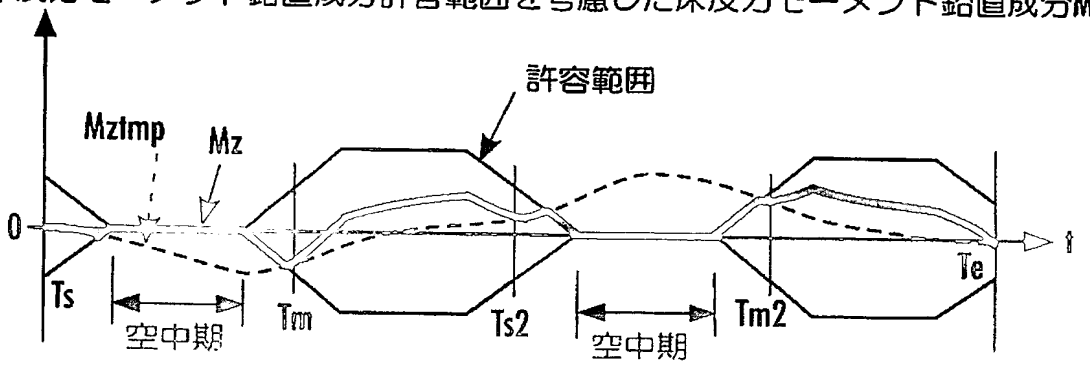
FIG.48



【図４９】

FIG.49

床反力モーメント鉛直成分許容範囲を考慮した床反力モーメント鉛直成分Mz



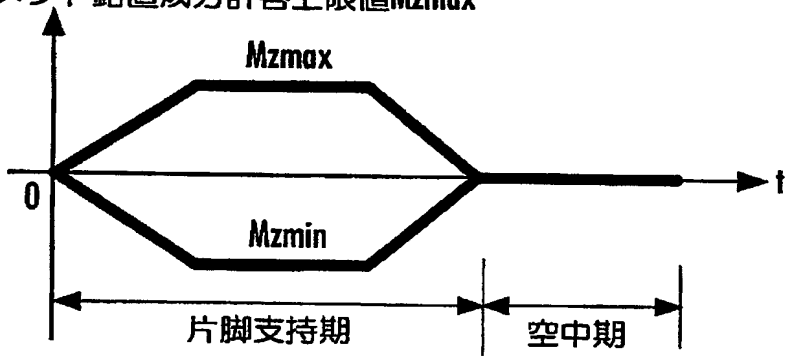
【図５０】

FIG.50

（床反力モーメント鉛直成分許容範囲）

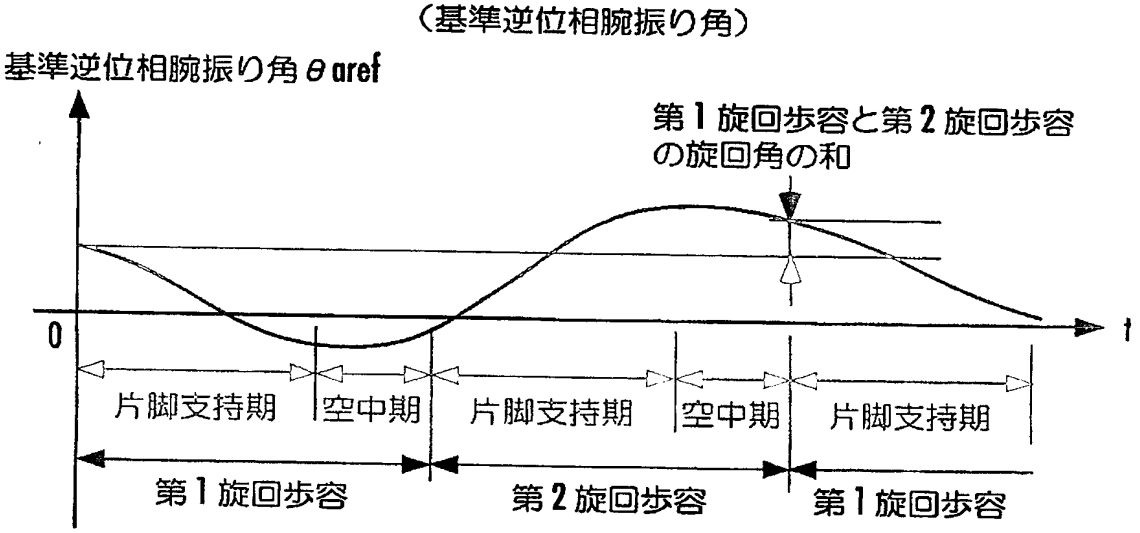
床反力モーメント鉛直成分許容下限値Mzminと

床反力モーメント鉛直成分許容上限値Mzmax

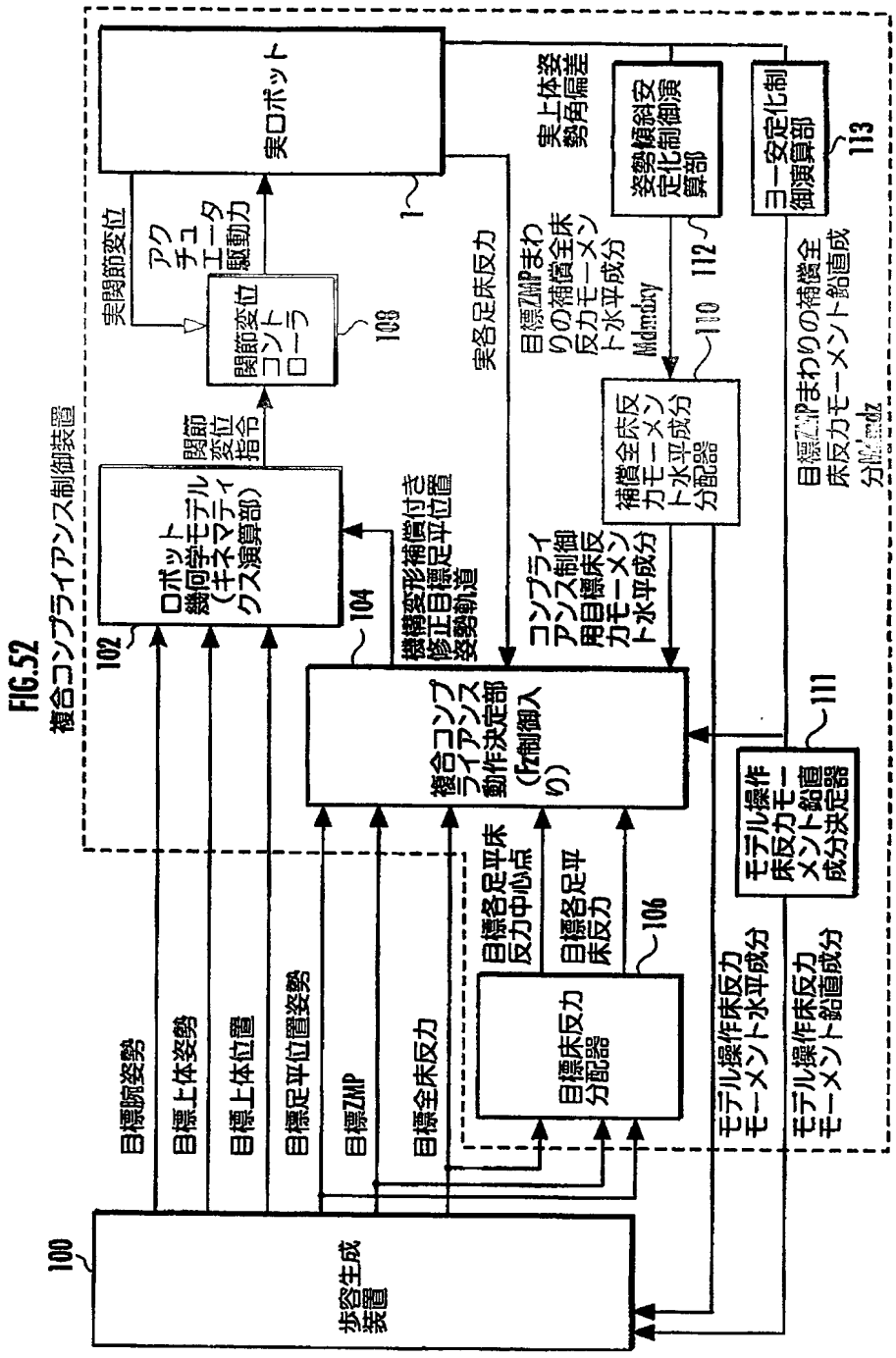


【図５１】

FIG.51

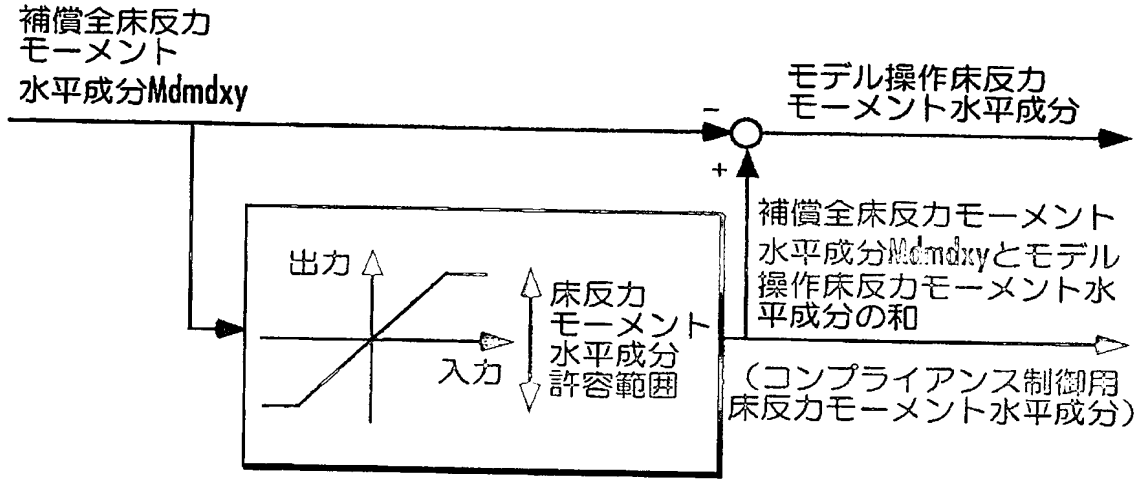

（基準逆位相腕振り角）
基準逆位相腕振り角θaref
第１旋回歩容と第２旋回歩容
の旋回角の和
0
t
片脚支持期
空中期
片脚支持期
空中期
片脚支持期
第１旋回歩容
第２旋回歩容
第１旋回歩容

【図５２】


FIG.52
複合コンプライアンス制御装置
実ロボット
1
実関節変位
アクチュエータ駆動力
関節変位コントローラ
109
実各足床反力
実上体姿勢角偏差
姿勢傾斜安定化制御演算部
112
ヨー安定化制御演算部
113
目標ZMPまわりの補償全床反力モーメント水平成分
Mdmxdy
110
補償全床反力モーメント水平成分配器
目標ZMPまわりの補償全床反力モーメント鉛直成分
Mdmzdz
関節変位指令
ロボット幾何学モデル（キネマティクス演算部）
102
104
機構変形補償付き修正目標足平位置姿勢軌道
コンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分
複合コンプライアンス動作決定部（7制御入り）
111
モデル操作床反力モーメント鉛直成分決定器
目標腕姿勢
目標上体姿勢
目標上体位置
目標足平位置姿勢
目標ZMP
目標全床反力
目標各足平床反力中心点
目標各足平床反力
106
目標床反力分配器
モデル操作床反力モーメント水平成分
モデル操作床反力モーメント鉛直成分
100
歩容生成装置

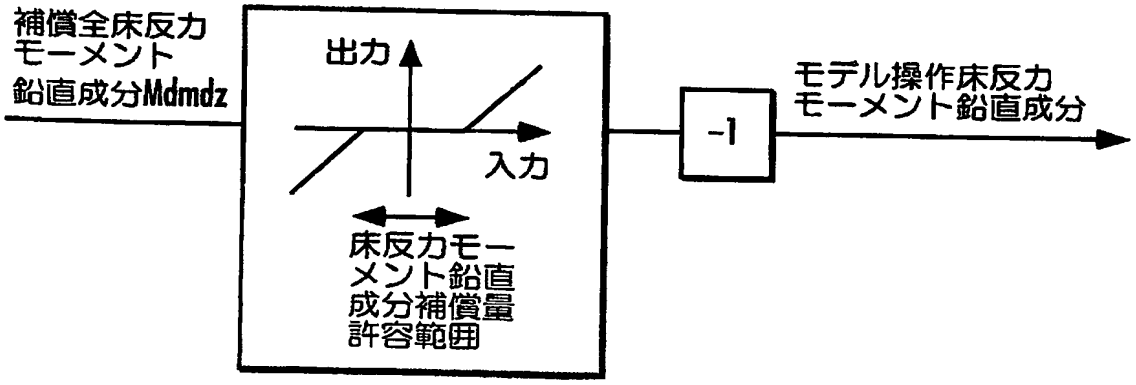
【図５３】

FIG.53



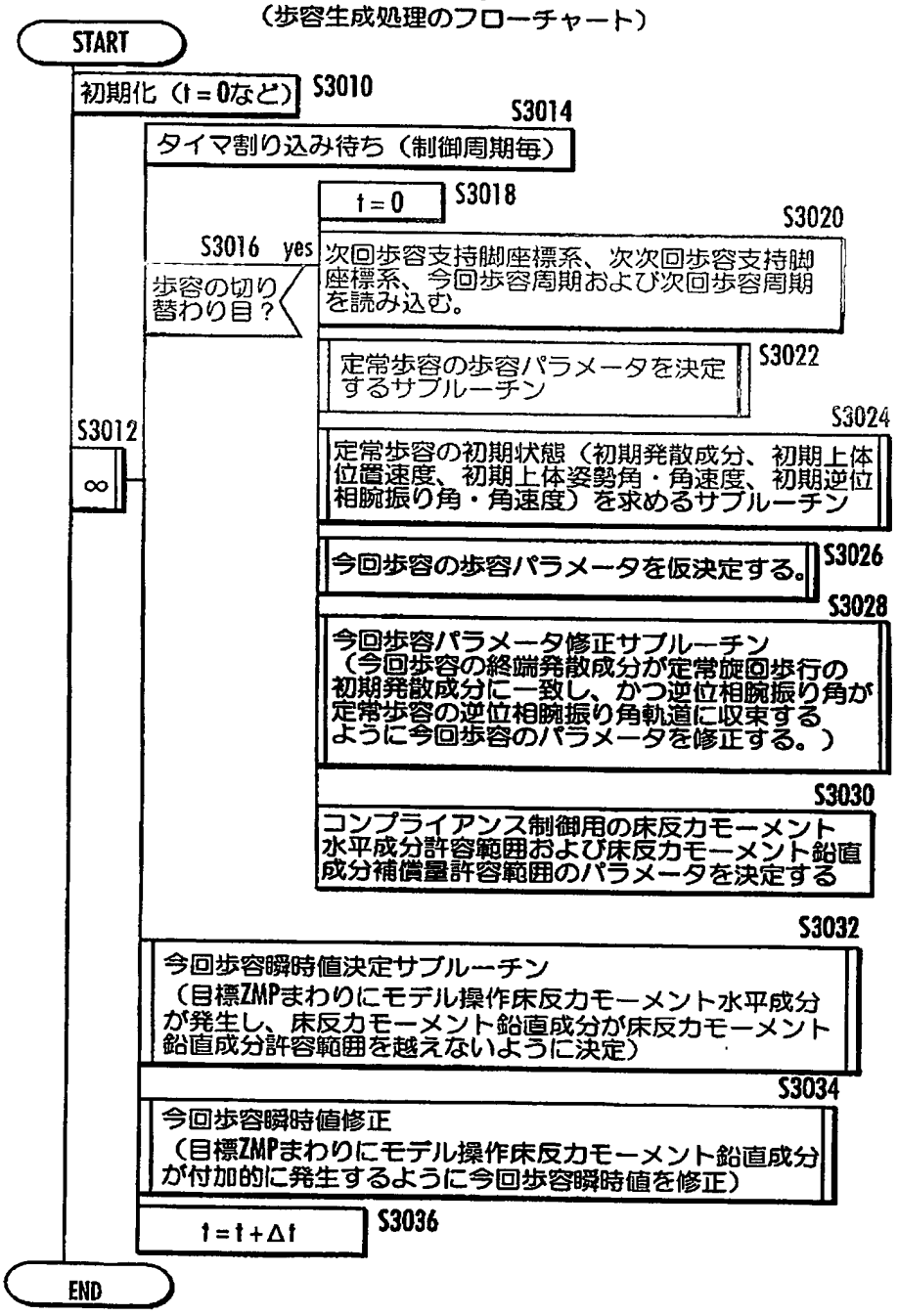
【図５４】

FIG.54



【図５５】

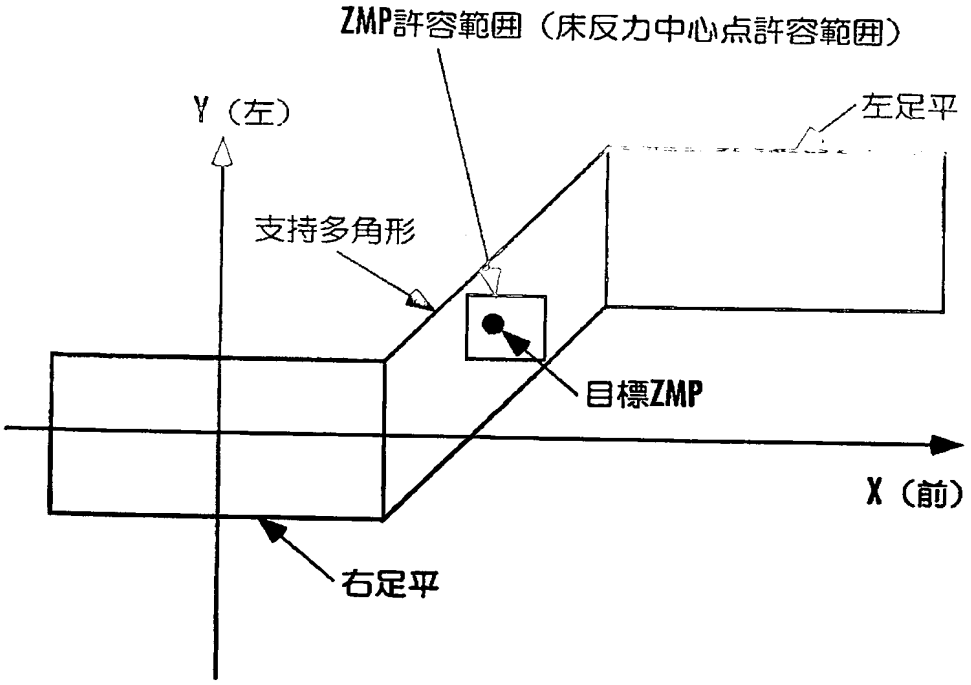
FIG.55
（歩容生成処理のフローチャート）



【図５６】

FIG.56

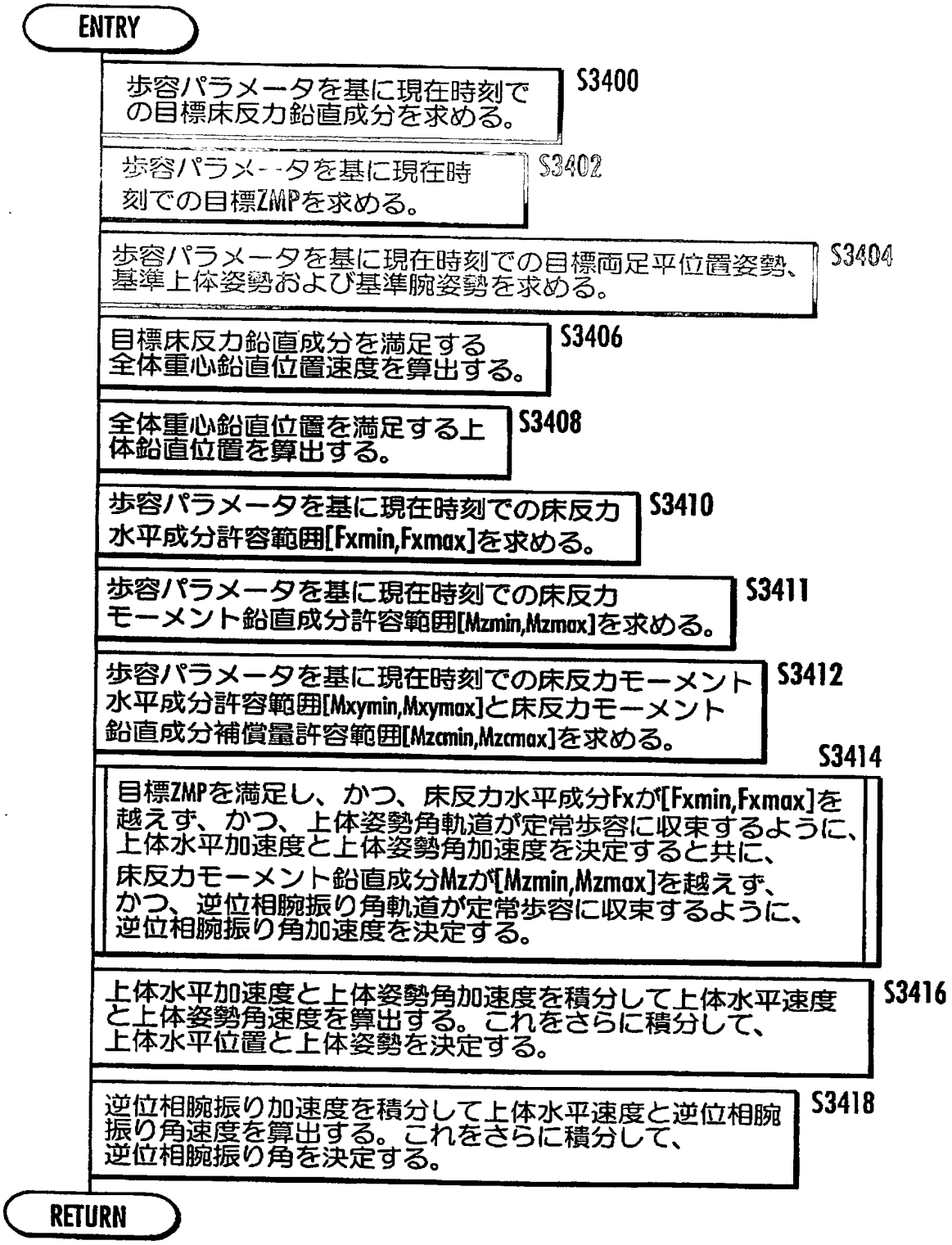
(支持多角形とZMP許容範囲)



【図５７】

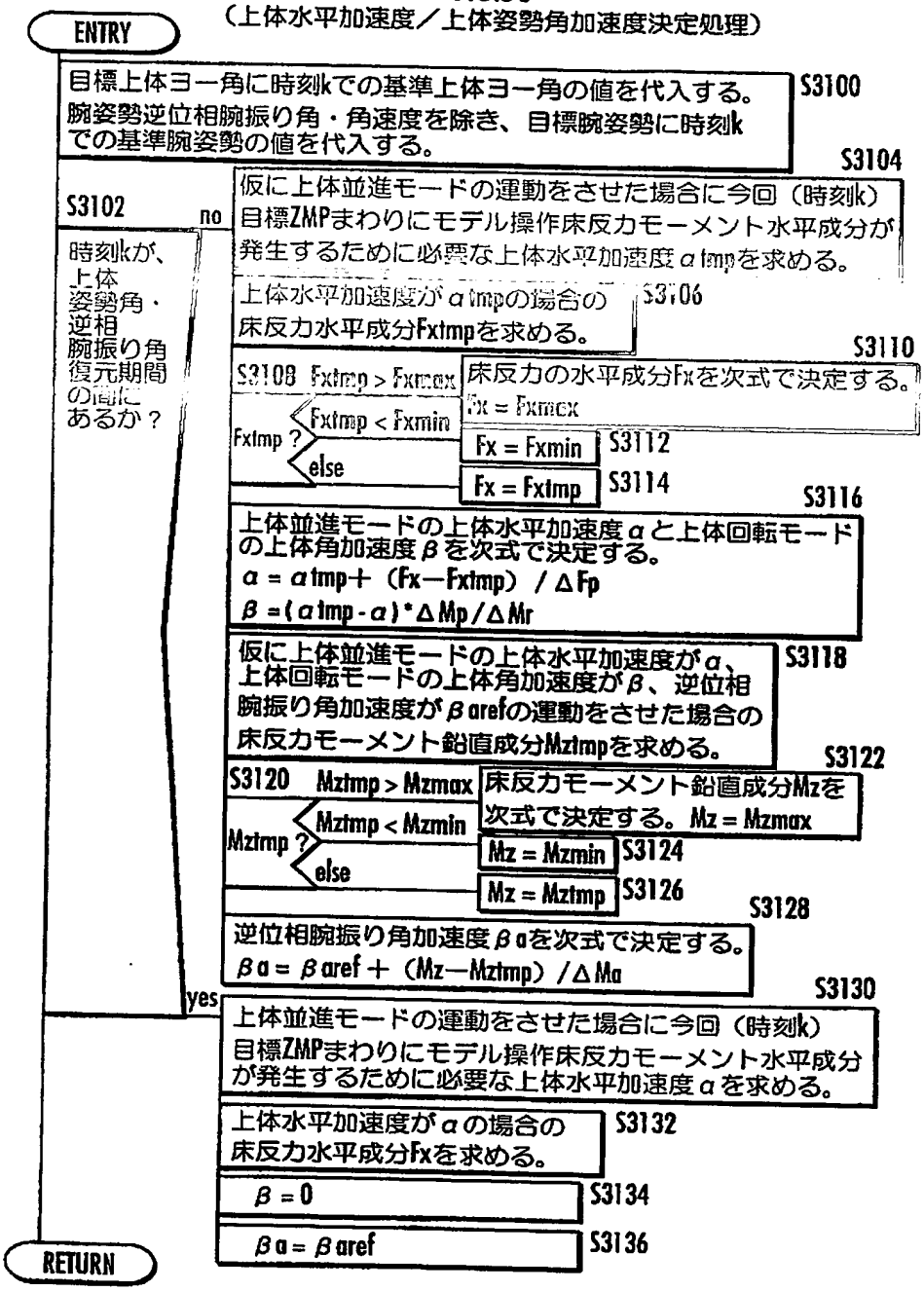
FIG.57

（今回歩容瞬時値決定処理）



【図５８】

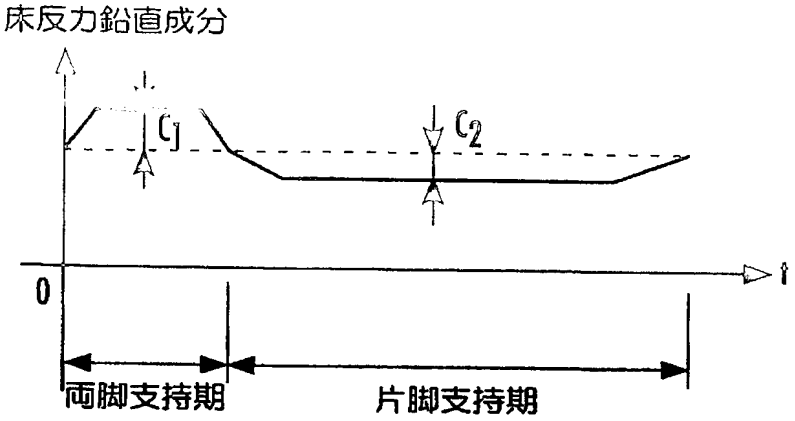
FIG.58


（上体水平加速度／上体姿勢角加速度決定処理）
ENTRY
目標上体ヨー角に時刻kでの基準上体ヨー角の値を代入する。腕姿勢逆位相腕振り角・角速度を除き、目標腕姿勢に時刻kでの基準腕姿勢の値を代入する。
S3100
S3102
時刻kが、上体姿勢角・逆相腕振り角復元期間の間にあるか？
no
S3104
仮に上体並進モードの運動をさせた場合に今回（時刻k）目標ZMPまわりにモデル操作床反力モーメント水平成分が発生するために必要な上体水平加速度αtmpを求める。
S3106
上体水平加速度がαtmpの場合の床反力水平成分Fxtmpを求める。
S3110
S3108 Fxtmp > Fxmax
床反力の水平成分Fxを次式で決定する。
Fx = Fxmax
Fxtmp ?
Fxtmp < Fxmin
Fx = Fxmin
S3112
else
Fx = Fxtmp
S3114
S3116
上体並進モードの上体水平加速度αと上体回転モードの上体角加速度βを次式で決定する。
α = αtmp＋（Fx－Fxtmp）／ΔFp
β =（αtmp - α）*ΔMp／ΔMr
S3118
仮に上体並進モードの上体水平加速度がα、上体回転モードの上体角加速度がβ、逆位相腕振り角加速度がβarefの運動をさせた場合の床反力モーメント鉛直成分Mztmpを求める。
S3122
S3120 Mztmp > Mzmax
床反力モーメント鉛直成分Mzを次式で決定する。Mz = Mzmax
Mztmp ?
Mztmp < Mzmin
Mz = Mzmin
S3124
else
Mz = Mztmp
S3126
S3128
逆位相腕振り角加速度βαを次式で決定する。
βα = βaref ＋（Mz－Mztmp）／ΔMα
yes
S3130
上体並進モードの運動をさせた場合に今回（時刻k）目標ZMPまわりにモデル操作床反力モーメント水平成分が発生するために必要な上体水平加速度αを求める。
上体水平加速度がαの場合の床反力水平成分Fxを求める。
S3132
β = 0
S3134
βα = βaref
S3136
RETURN

【図５９】

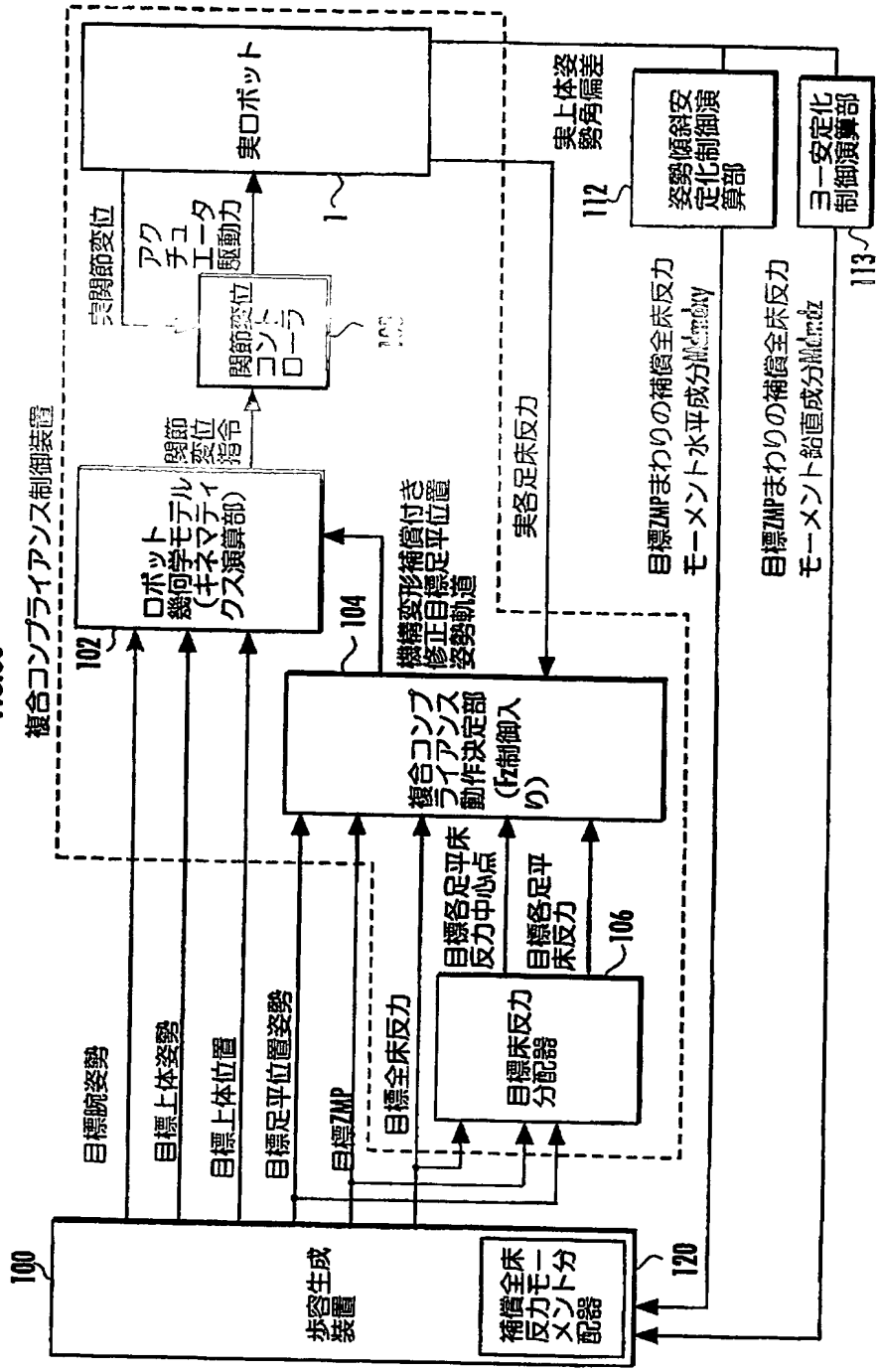
FIG.59

（歩行時目標床反力鉛直成分）



【図６０】

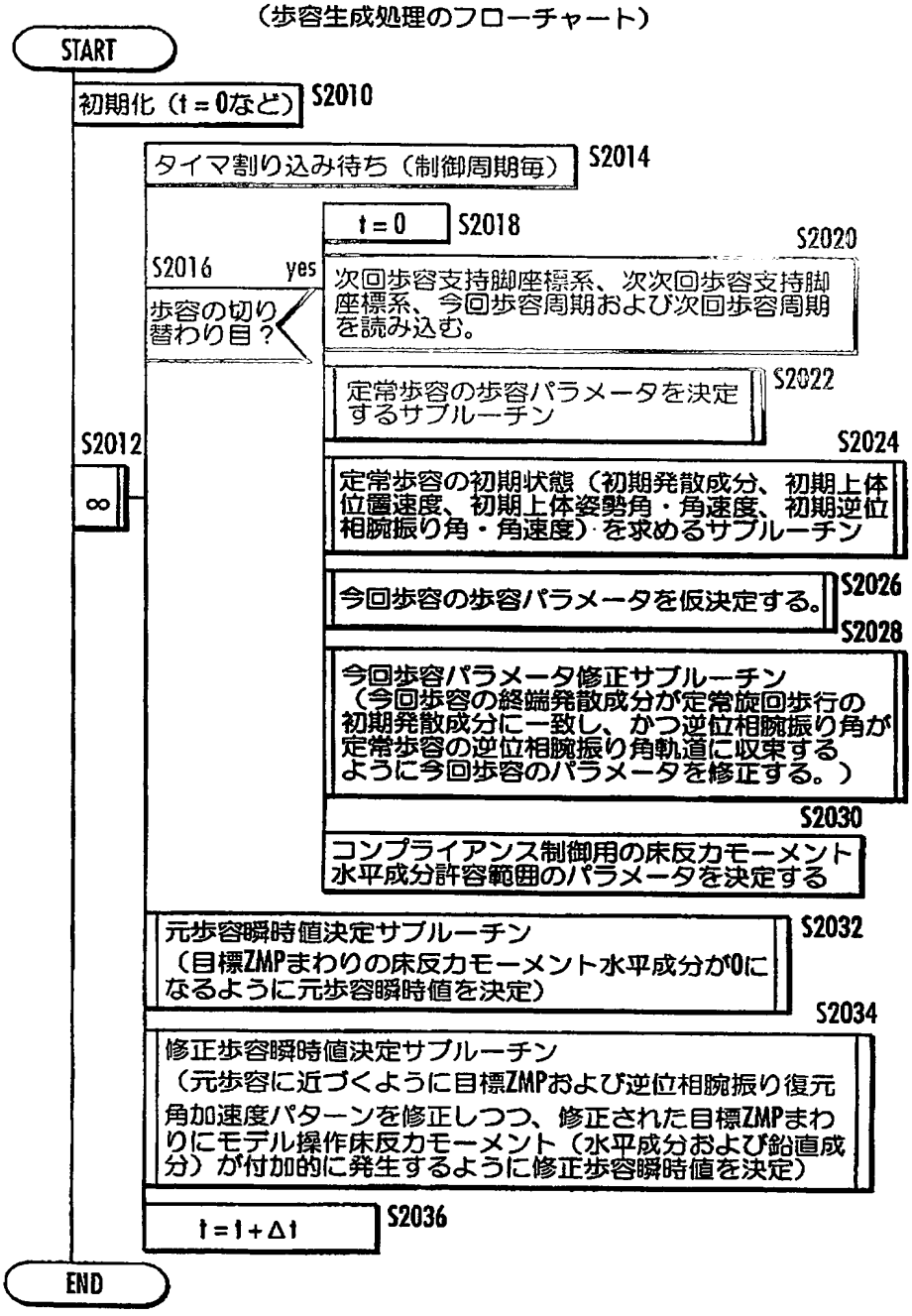
FIG.60


複合コンプライアンス制御装置
実ロボット
1
実関節変位
アクチュエータ駆動力
関節コンプライアンスコントローラ
105
関節変位指令
ロボット幾何学モデル（キネマティクス演算部）
102
104
機構変形補償付き修正目標足平位置姿勢軌道
実各足床反力
実上体姿勢傾斜角偏差
112
姿勢傾斜安定化制御演算部
ヨー安定化制御演算部
113
目標ZMPまわりの補償全床反力モーメント水平成分Mdmdxy
目標ZMPまわりの補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdz
複合コンプライアンス動作決定部（fz制御入り）
目標腕姿勢
目標上体姿勢
目標上体位置
目標足平位置姿勢
目標ZMP
目標全床反力
目標各足平床反力中心点
目標各足平床反力
106
目標床反力分配器
歩容生成装置
100
補償全床反力モーメント分配器
120

【図６１】

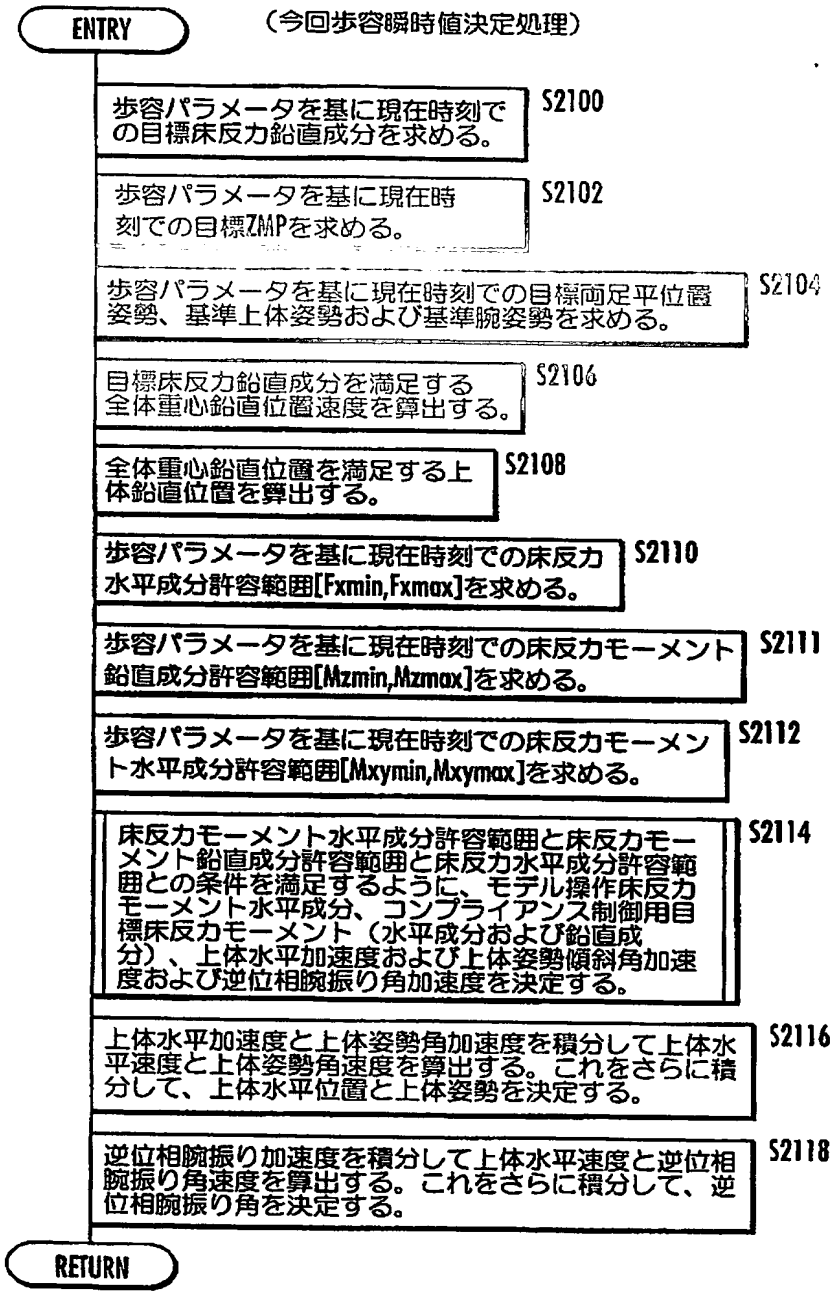
FIG.61

（歩容生成処理のフローチャート）



【図６２】

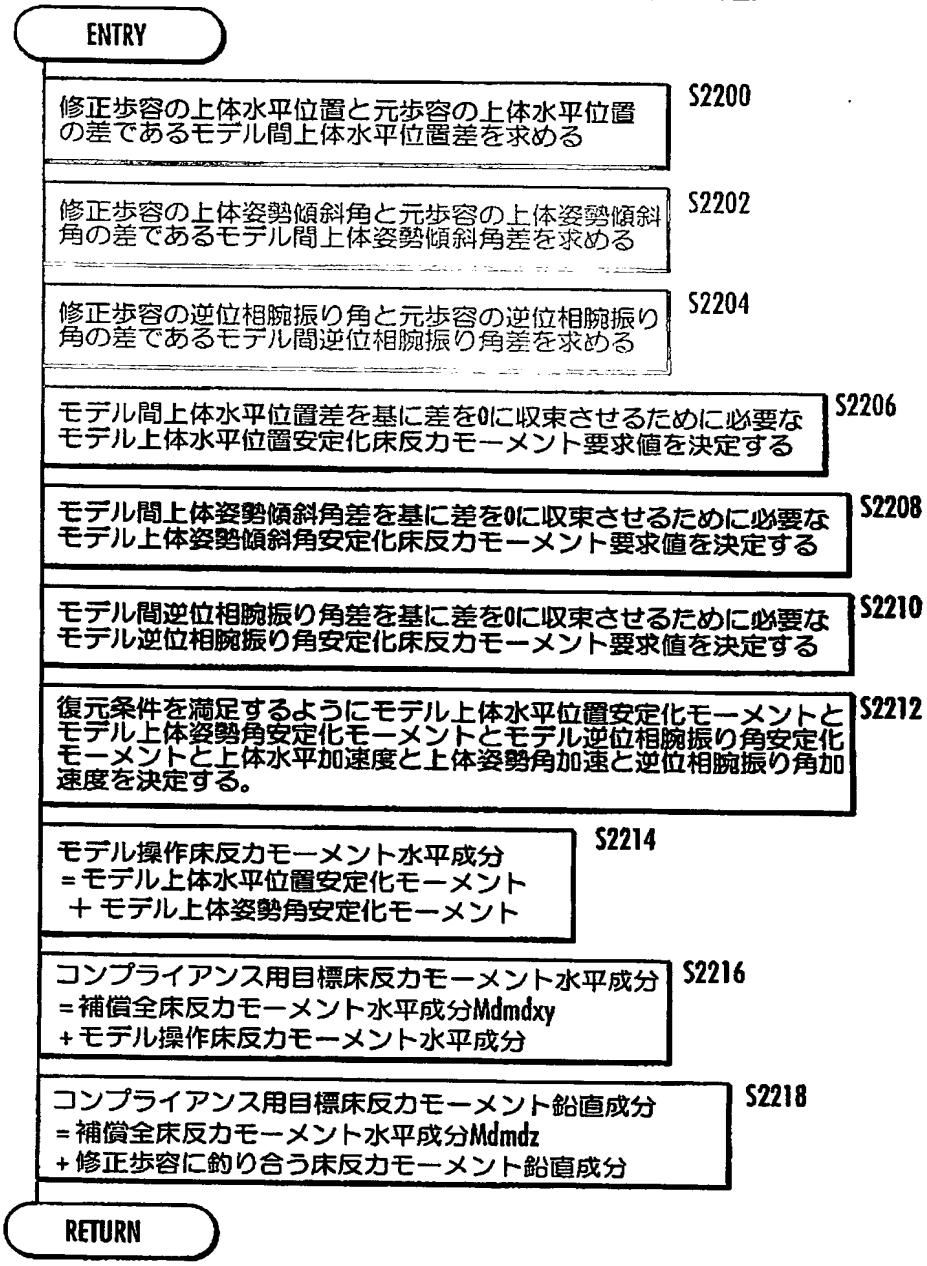
FIG.62


ENTRY
（今回歩容瞬時値決定処理）
歩容パラメータを基に現在時刻での目標床反力鉛直成分を求める。
S2100
歩容パラメータを基に現在時刻での目標ZMPを求める。
S2102
歩容パラメータを基に現在時刻での目標両足平位置姿勢、基準上体姿勢および基準腕姿勢を求める。
S2104
目標床反力鉛直成分を満足する全体重心鉛直位置速度を算出する。
S2106
全体重心鉛直位置を満足する上体鉛直位置を算出する。
S2108
歩容パラメータを基に現在時刻での床反力水平成分許容範囲[Fxmin,Fxmax]を求める。
S2110
歩容パラメータを基に現在時刻での床反力モーメント鉛直成分許容範囲[Mzmin,Mzmax]を求める。
S2111
歩容パラメータを基に現在時刻での床反力モーメント水平成分許容範囲[Mxymin,Mxymax]を求める。
S2112
床反力モーメント水平成分許容範囲と床反力モーメント鉛直成分許容範囲と床反力水平成分許容範囲との条件を満足するように、モデル操作床反力モーメント水平成分、コンプライアンス制御用目標床反力モーメント（水平成分および鉛直成分）、上体水平加速度および上体姿勢傾斜角加速度および逆位相腕振り角加速度を決定する。
S2114
上体水平加速度と上体姿勢角加速度を積分して上体水平速度と上体姿勢角速度を算出する。これをさらに積分して、上体水平位置と上体姿勢を決定する。
S2116
逆位相腕振り加速度を積分して上体水平速度と逆位相腕振り角速度を算出する。これをさらに積分して、逆位相腕振り角を決定する。
S2118
RETURN

【図６３】

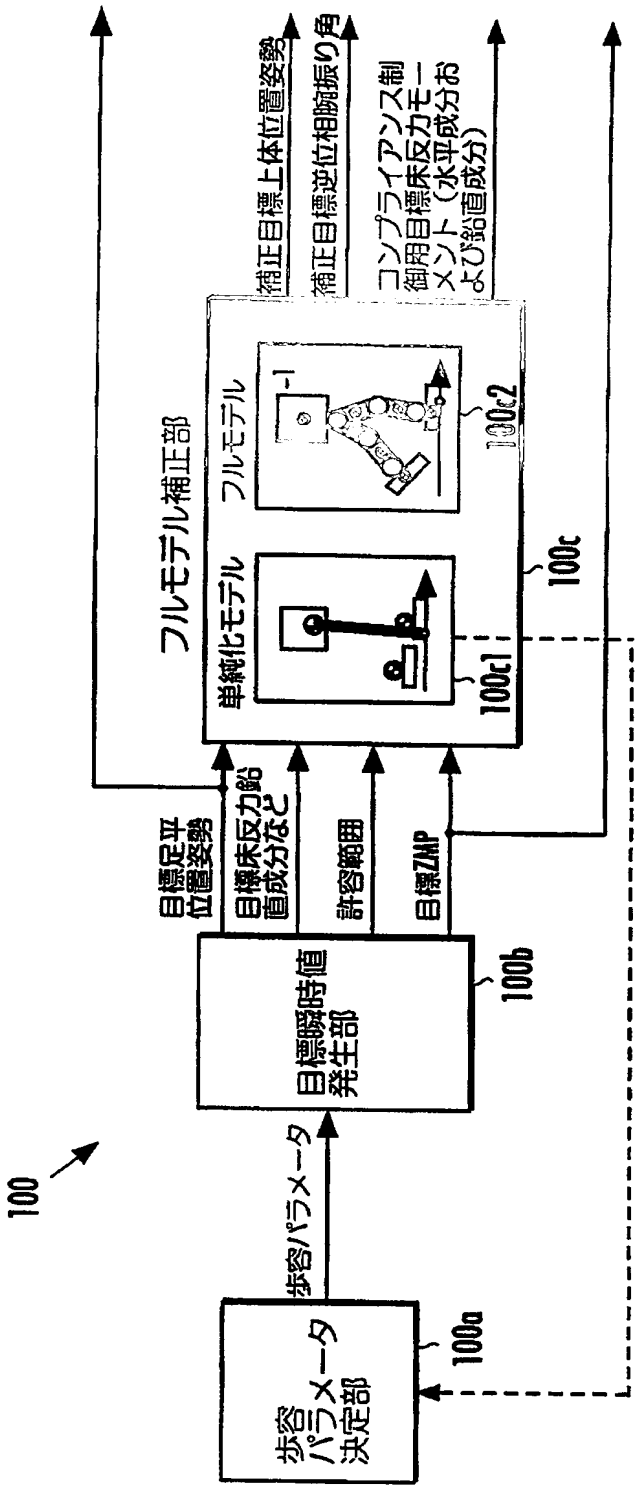
FIG.63

（上体水平加速度／上体姿勢角加速度決定処理）



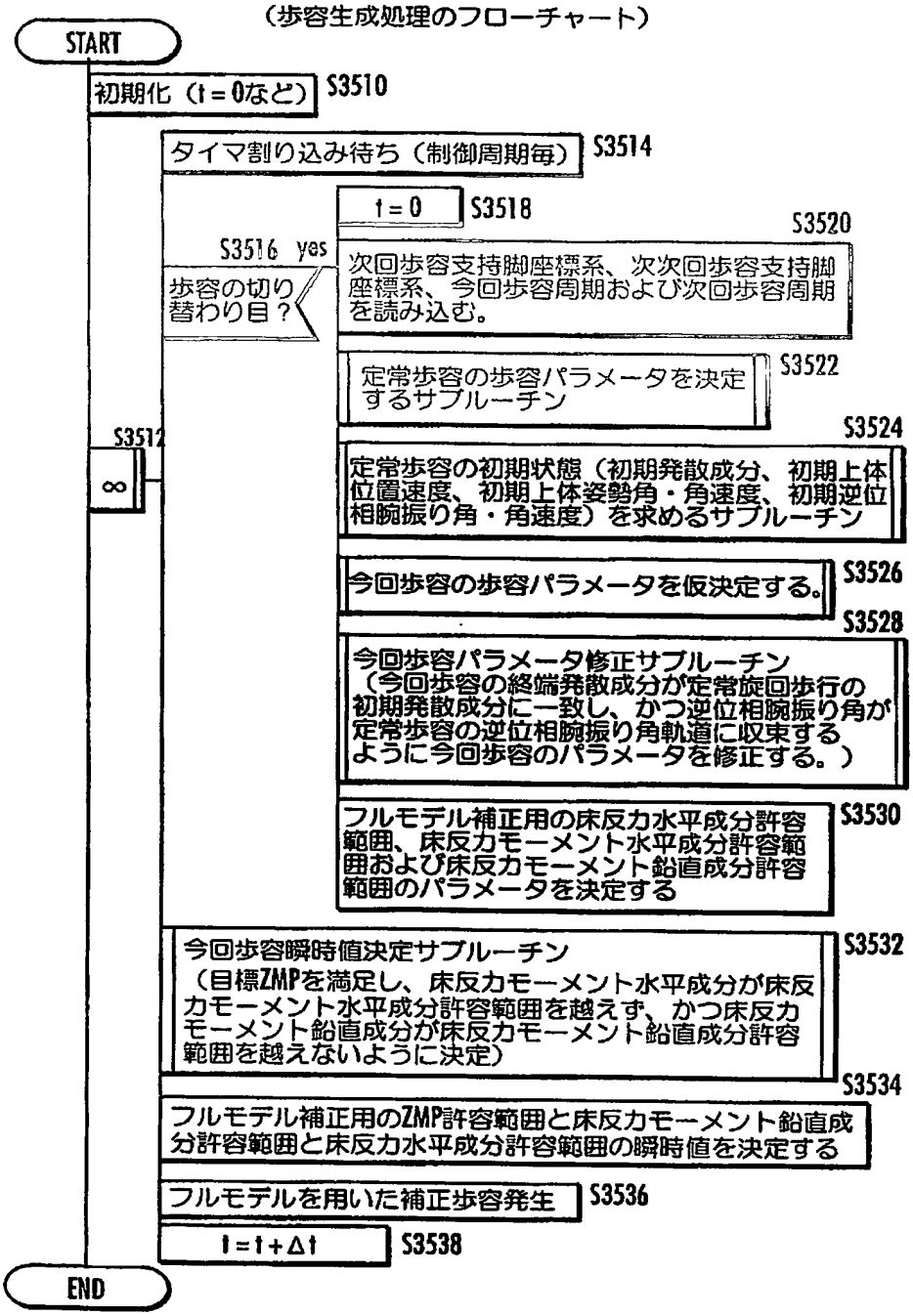
【図６４】

FIG.64
(フルモデル補正入り歩容生成装置の機能ブロック図)

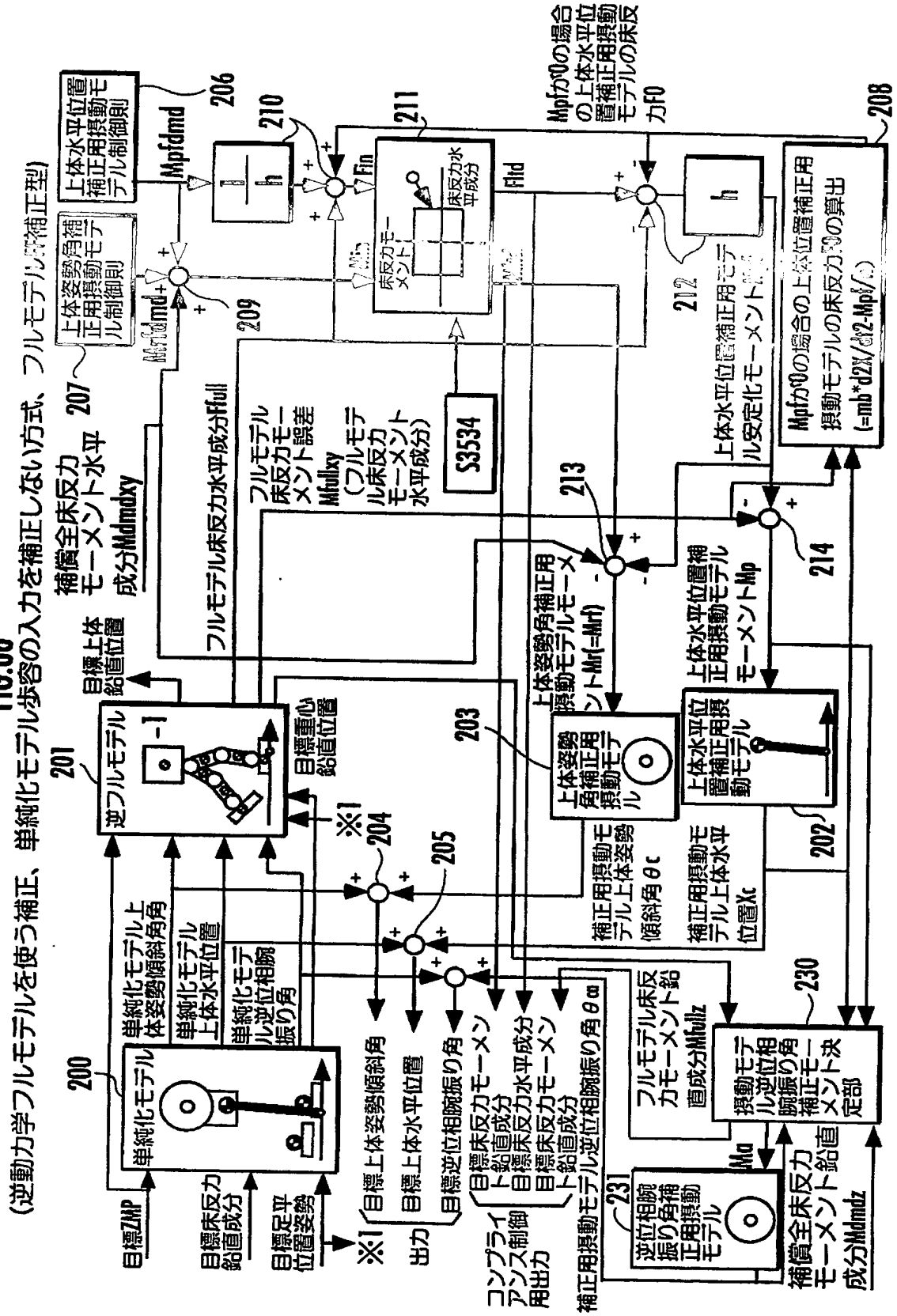


【図６５】

FIG.65
（歩容生成処理のフローチャート）



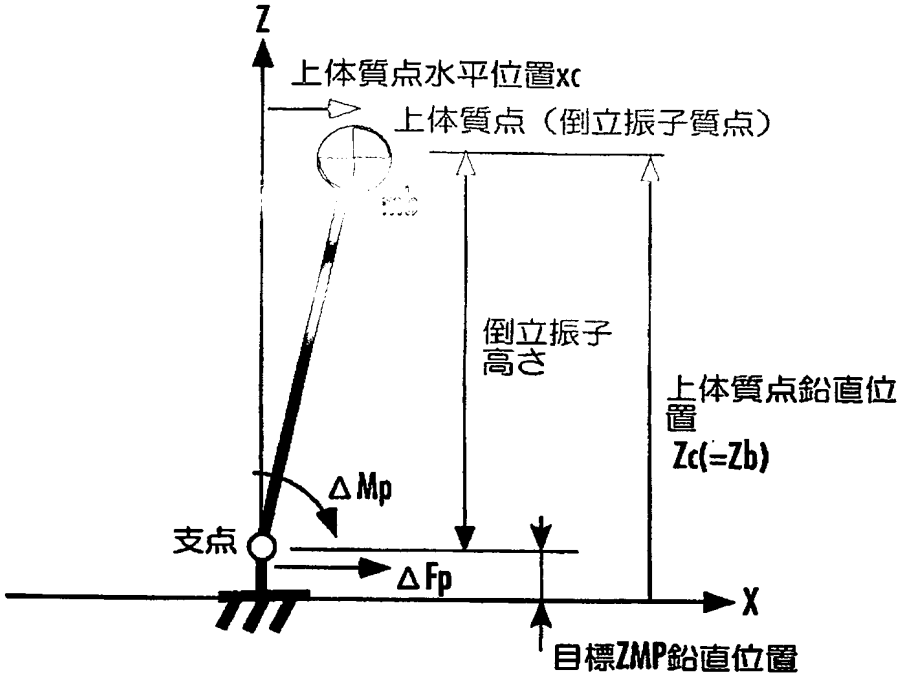
【図６６】


FIG.66
(逆動力学フルモデルを使う補正、単純化モデル歩容の入力を補正しない方式、フルモデル非補正型)
200
単純化モデル
201
逆フルモデル
202
上体水平位置補正用摂動モデル
203
上体姿勢角補正用摂動モデル
204
※1
205
206
上体水平位置補正用摂動モデル制御則
207
上体姿勢角補正用摂動モデル制御則
208
Mpf≠0の場合の上体水平位置補正用摂動モデルの床反力F0の算出
(=mb*d2X/dt2-Mpf/h)
209
210
211
床反力モーメント
床反力水平成分
212
上体水平位置補正用モデル安定化モーメント
213
214
S3534
230
摂動モデル逆位相腕振り角補正モーメント決定部
231
逆位相腕振り角補正用摂動モデル
フルモデル床反力モーメント鉛直成分Mfmdlz
補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdlz
補償全床反力モーメント水平成分Mdmdxy
フルモデル床反力水平成分Mfull
フルモデル床反力モーメント誤差Mfmdxy(フルモデル床反力モーメント水平成分)
上体姿勢角補正用摂動モデルモーメントMr(=Mrf)
上体水平位置補正用摂動モデルモーメントMp
補正用摂動モデル上体姿勢傾斜角θc
補正用摂動モデル上体水平位置Xc
単純化モデル上体姿勢傾斜角
単純化モデル上体水平位置
単純化モデル逆位相腕振り角
目標ZMP
目標床反力鉛直成分
目標足平位置姿勢
※1
出力
目標上体姿勢傾斜角
目標上体水平位置
目標逆位相腕振り角
目標上体鉛直位置
目標重心鉛直位置
コンプライアンス制御用出力
目標床反力モーメント鉛直成分
目標床反力水平成分モーメント
目標床反力モーメント鉛直成分
補正用摂動モデル逆位相腕振り角θm
Mpf=0
Fin
Flfd
Mfd
Mfmd
Mpfdmd
Ma

【図６７】

FIG.67

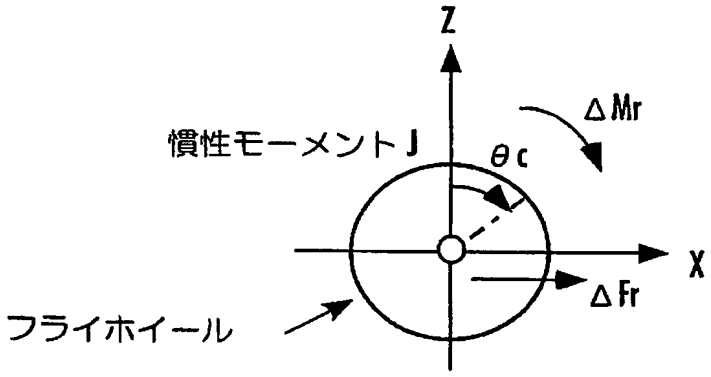
（上体水平位置補正用摂動モデル）



【図６８】

FIG.68

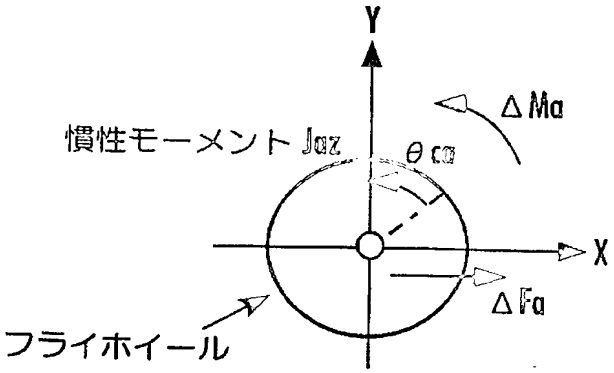
（上体姿勢角補正用摂動モデル）



【図６９】

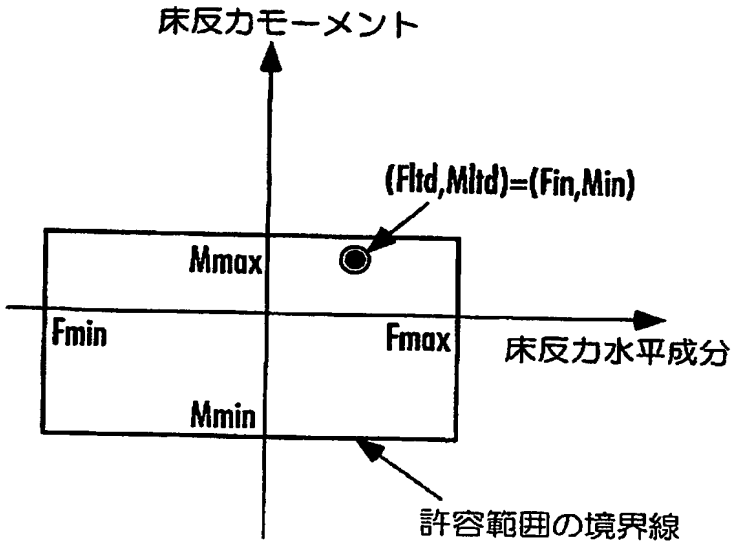
FIG.69

（逆位相腕振り角補正用摂動モデル）



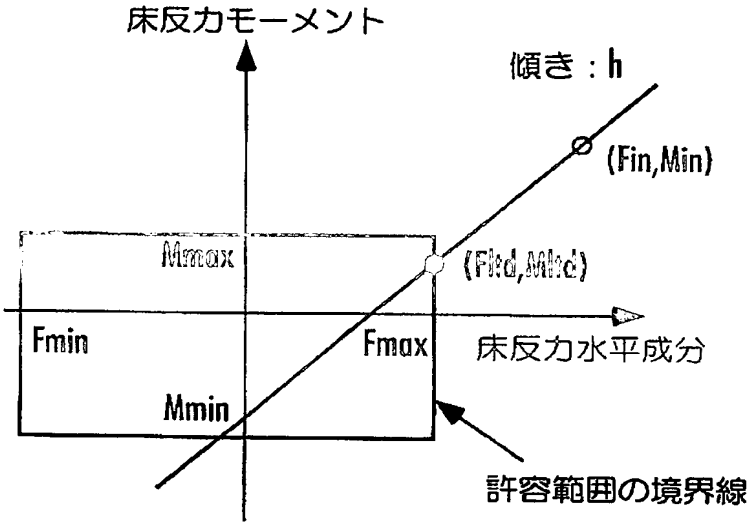
【図７０】

FIG.70



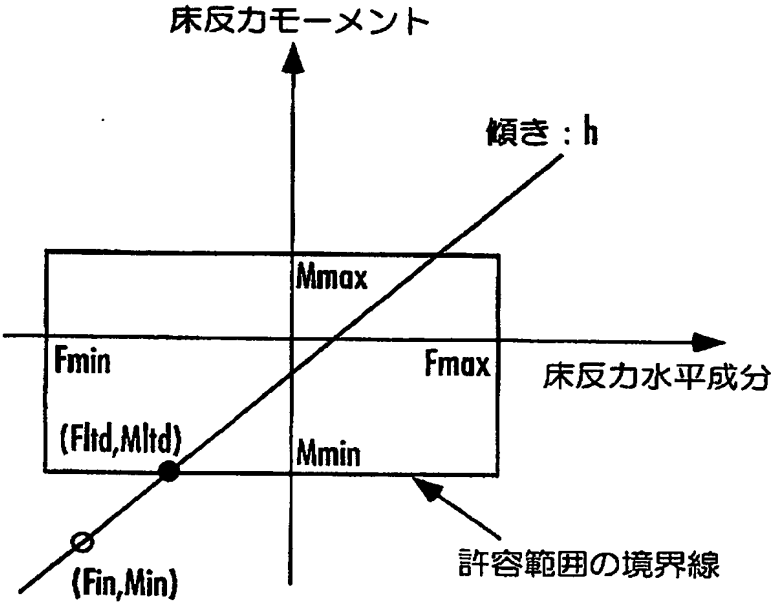
【図７１】

FIG.71



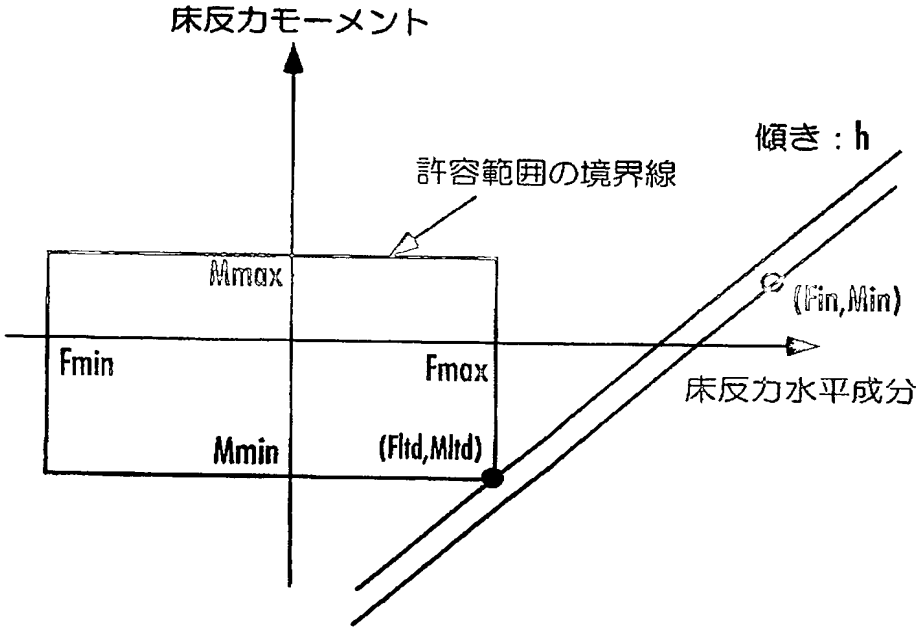
【図７２】

FIG.72

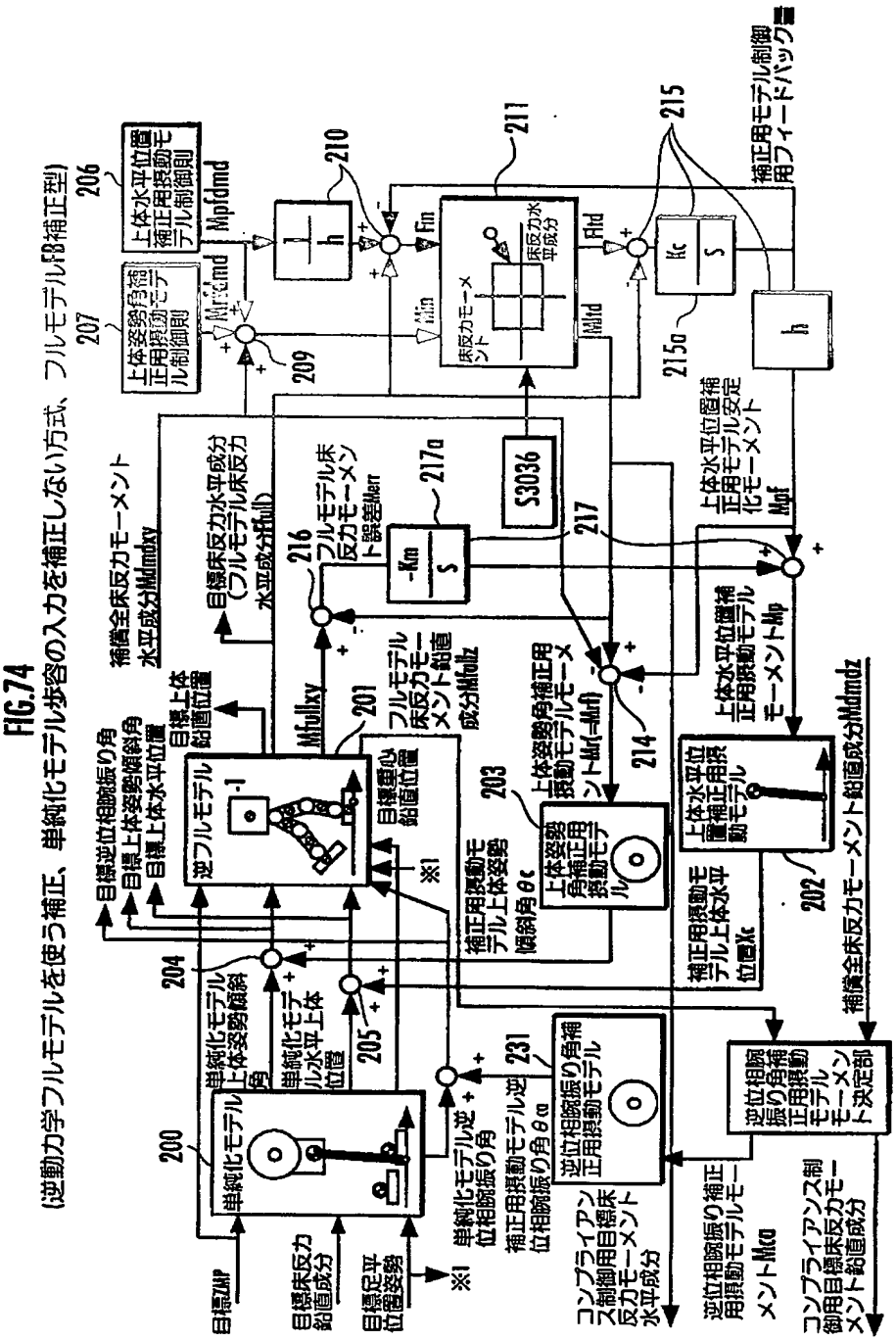


【図７３】

FIG.73

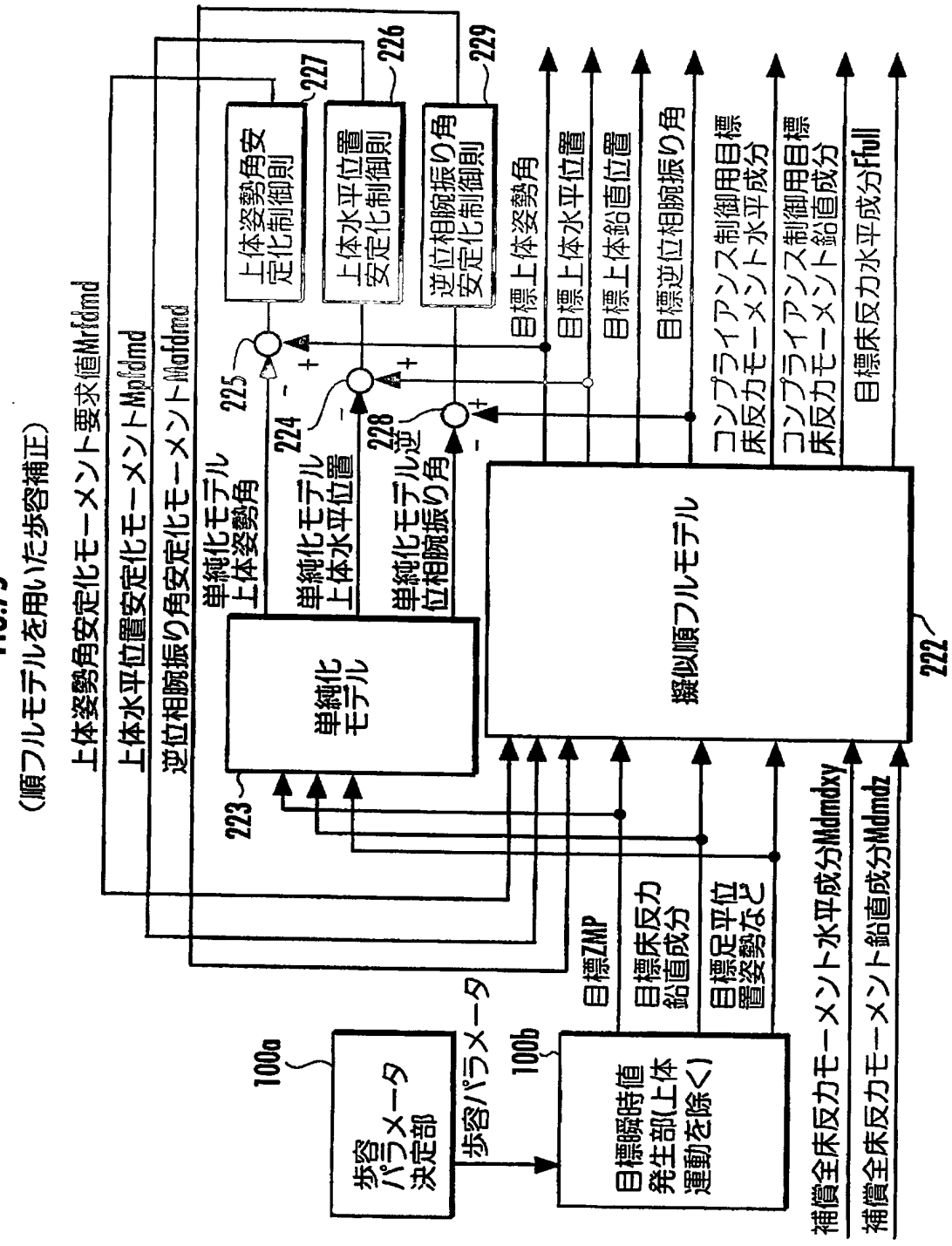

床反力モーメント
傾き：h
許容範囲の境界線
Mmax
(Fin,Min)
Fmin
Fmax
床反力水平成分
Mmin
(Fltd,Mltd)

【図７４】

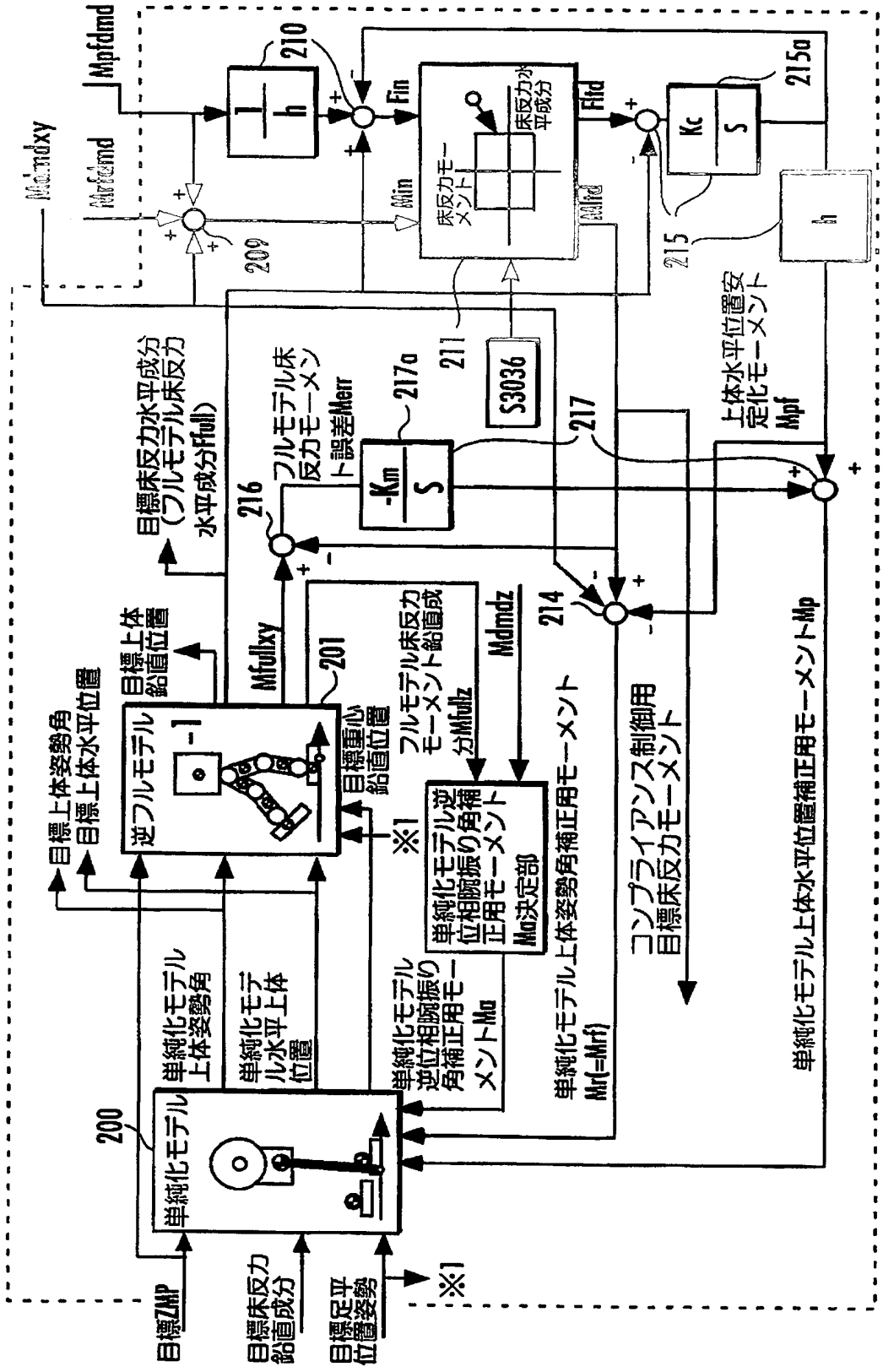

FIG.74
(逆動力学フルモデルを使う補正、単純化モデル歩容の入力を補正しない方式、フルモデルFB補正型)
目標ZMP
目標床反力鉛直成分
目標足平位置姿勢
※1
単純化モデル
単純化モデル上体姿勢傾斜角
単純化モデル水平上体位置
単純化モデル逆
単純化モデル逆位相腕振りの角
逆フルモデル
目標逆位相腕振りの角
目標上体姿勢傾斜角
目標上体水平位置
目標上体鉛直位置
目標重心鉛直位置
補正用摂動モデル上体姿勢傾斜角
補正用摂動モデル逆位相腕振りの角
逆位相腕振りの角補正用摂動モデル
コンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分
補償全床反力モーメント水平成分Mdmdxy
目標床反力水平成分(フルモデル床反力水平成分Mfull)
フルモデル床反力モーメント誤差Merr
フルモデル床反力モーメント鉛直成分Mfullz
上体姿勢角補正用摂動モデル
上体姿勢角補正用モーメントΔMr(=-ΔMrf)
上体水平位置補正用摂動モデル
補正用摂動モデル上体水平位置Δx
逆位相腕振り補正用摂動モデルモーメント決定部
逆位相腕振り補正用摂動モデルモーメントMka
補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdz
コンプライアンス制御用目標床反力モーメント鉛直成分
上体水平位置補正用モデル制御則
上体姿勢角補正用摂動モデル制御則
補正用モデル制御用フィードバック量
上体水平位置補正用モデルモーメントMp
上体水平位置補正用モーメントMpf
床反力モーメント
床反力水平成分
S3036
200
201
202
203
204
205
206
207
209
210
211
214
215
215a
216
217
217a
231

【図７５】

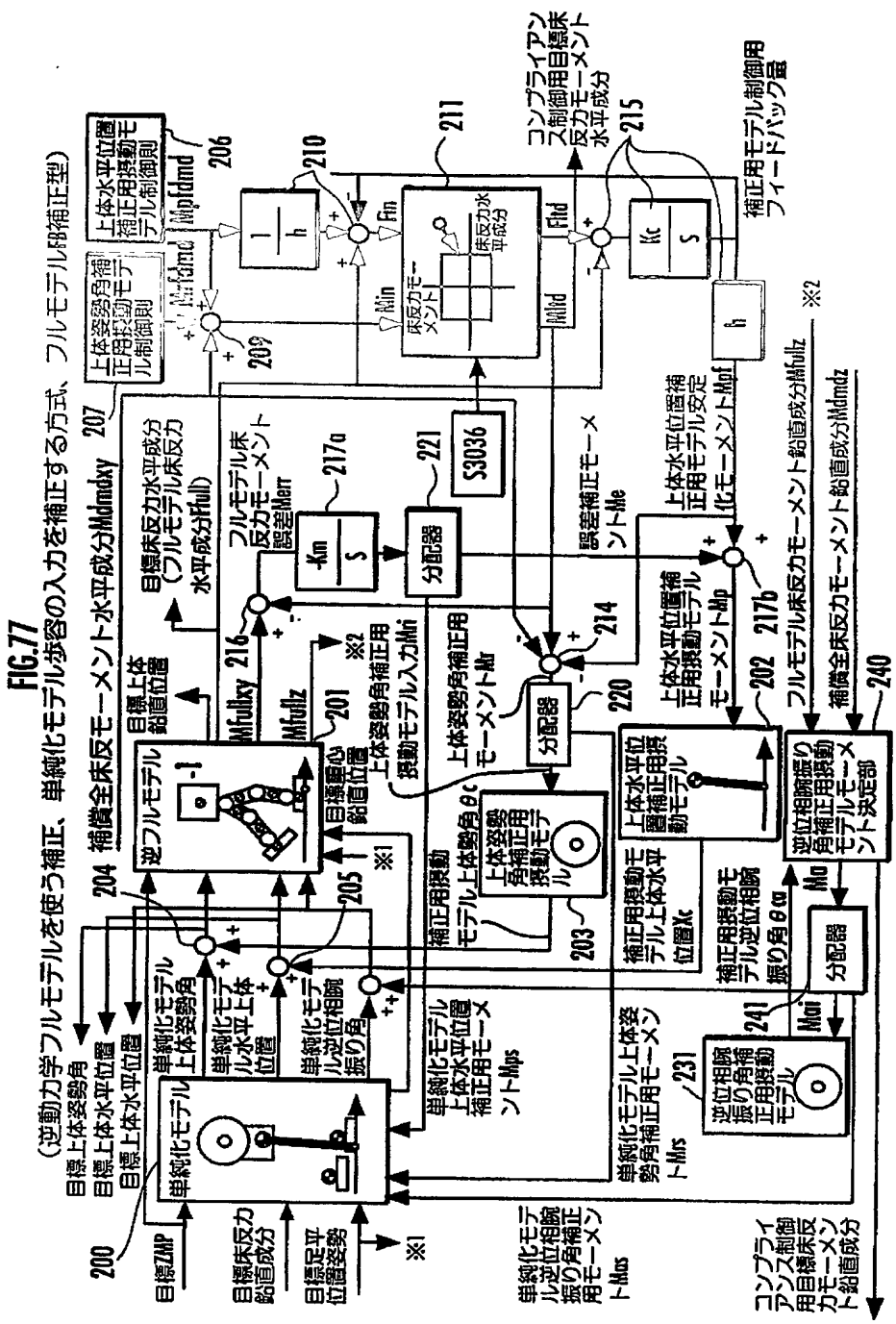
FIG.75
（順フルモデルを用いた歩容補正）



【図７６】


FIG.76
(疑似順フルモデル)
Mdmdxy
Mpfdmd
Mrfdmd
209
210
Min
Fin
床反力モーメント
床反力水平成分
Mfld
215a
Kc
S
215
h
目標床反力水平成分
(フルモデル床反力
水平成分Mfull)
フルモデル床
反力モーメント誤差Merr
217a
211
S3036
217
上体水平位置安
定化モーメント
Mpf
216
-Km
S
Mfullxy
201
目標上体
鉛直位置
逆フルモデル
-1
目標上体姿勢角
目標上体水平位置
目標重心
鉛直位置
※1
フルモデル床反力
モーメント鉛直成
分Mfullz
Mdmdz
214
単純化モデル逆位相腕振り角補
正用モーメント
Mq決定部
単純化モデル上体姿勢角補正用モーメント
Mrf(=Mrf)
コンプライアンス制御用
目標床反力モーメント
単純化モデル
上体姿勢角
単純化モデル
水平上体
位置
単純化モデル
逆位相腕振り
角補正用モー
メントMq
200
単純化モデル
単純化モデル上体水平位置補正用モーメントMp
目標ZMP
目標床反力
鉛直成分
目標足平
位置姿勢
※1

【図７７】


FIG.77
(逆動力学フルモデルを使う補正、単純化モデル歩容の入力を補正する方式、フルモデル部補正型)
補償全床反モーメント水平成分Mdmdxy
目標上体姿勢角
目標上体水平位置
目標上体鉛直位置
逆フルモデル
フルモデル床反力モーメント誤差Merr
目標床反力水平成分(フルモデル床反力Mfull)
目標床反力鉛直成分
目標足平位置姿勢
単純化モデル
単純化モデル上体姿勢角
単純化モデル水平上体位置
単純化モデル逆位相腕振り角
単純化モデル上体水平位置補正用モーメントMps
単純化モデル逆位相腕振り角補正用モーメントMas
補正用摂動モデル上体姿勢角補正用摂動モデル
補正用摂動モデル上体水平位置Mx
補正用摂動モデル逆位相腕振り角θα
逆位相腕振り角補正用摂動モデル
逆位相腕振り角補正用摂動モデルモーメント決定部
上体水平位置補正用摂動モデル
上体水平位置補正用摂動モーメントMhp
上体水平位置補正用モデル安定化モーメントMpf
フルモデル床反力モーメント鉛直成分Mfullz
補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdz
上体姿勢角補正用摂動モーメントMr
上体姿勢角θc
誤差補正モーメントMe
分配器
S3036
床反力モーメント
床反力水平成分
コンプライアンス制御用目標床反力モーメント水平成分
補正用モデル制御用フィードバック量
上体水平位置補正用モデル制御則
上体姿勢角補正用モデル制御則
コンプライアンス制御用目標床反力モーメント鉛直成分
200
204
205
206
207
209
210
211
214
215
216
217a
217b
220
221
231
240
241
202
203
※1
※2

【図７８】

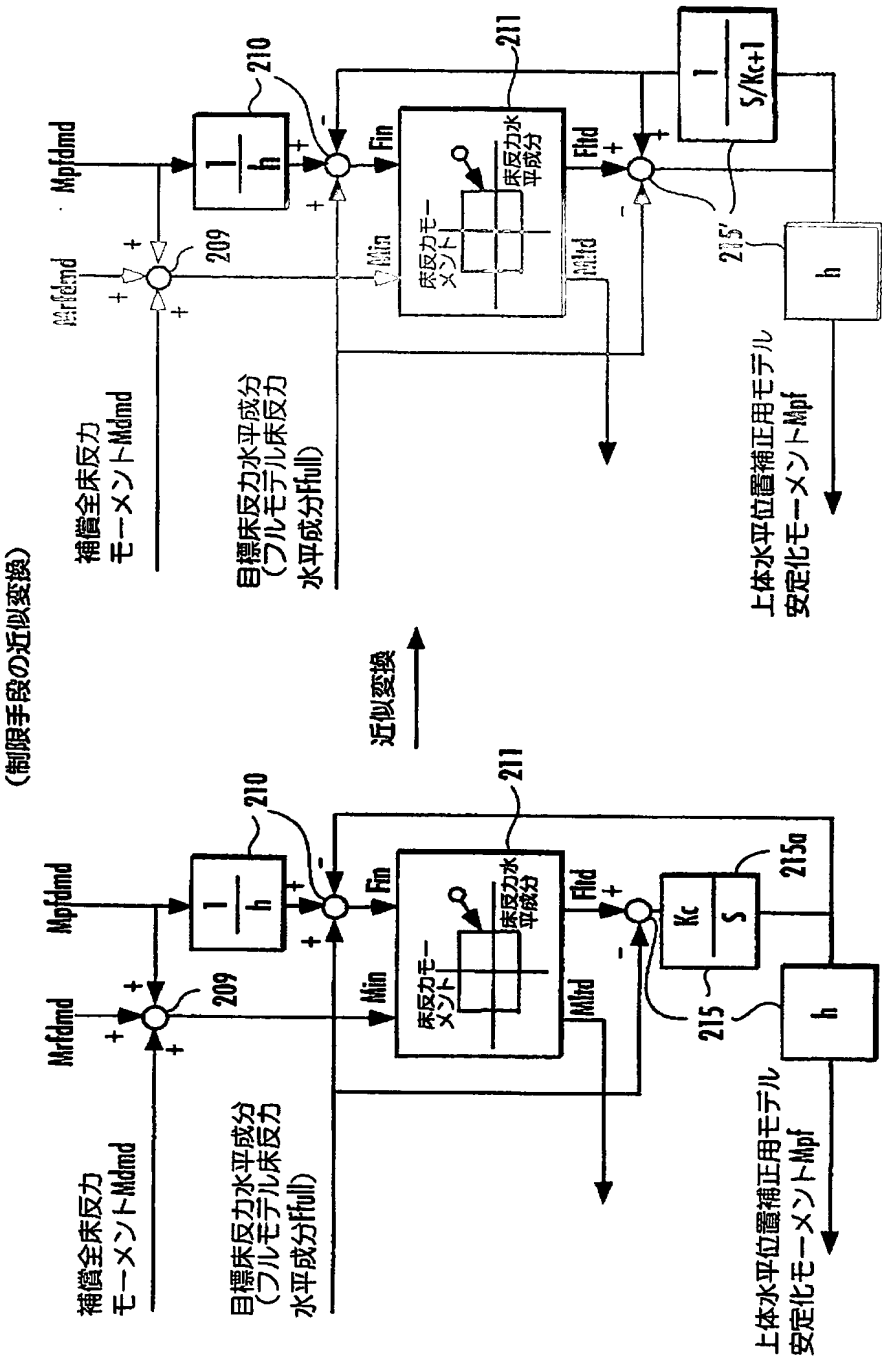
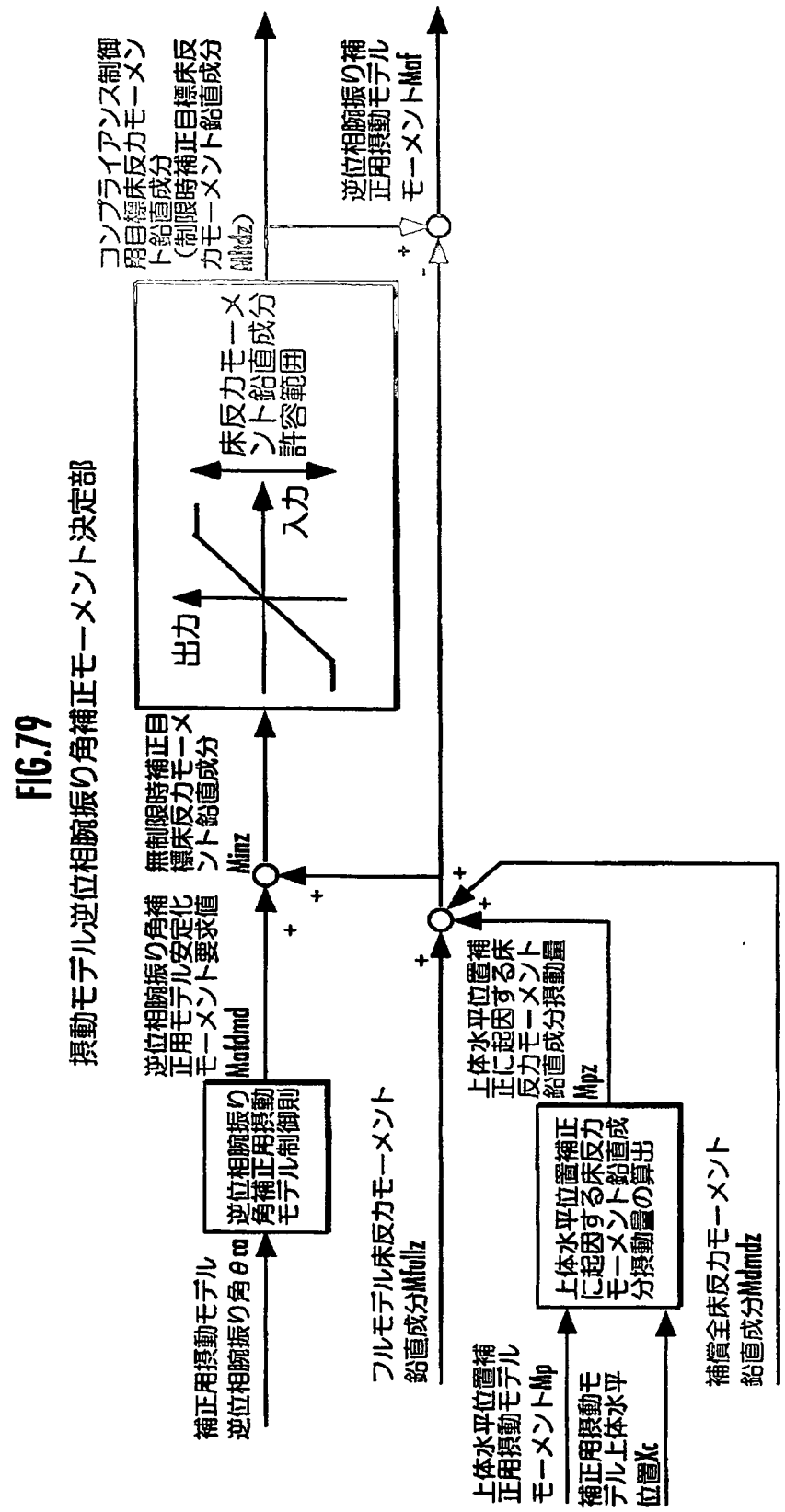


FIG.78
(制限手段の近似変換)

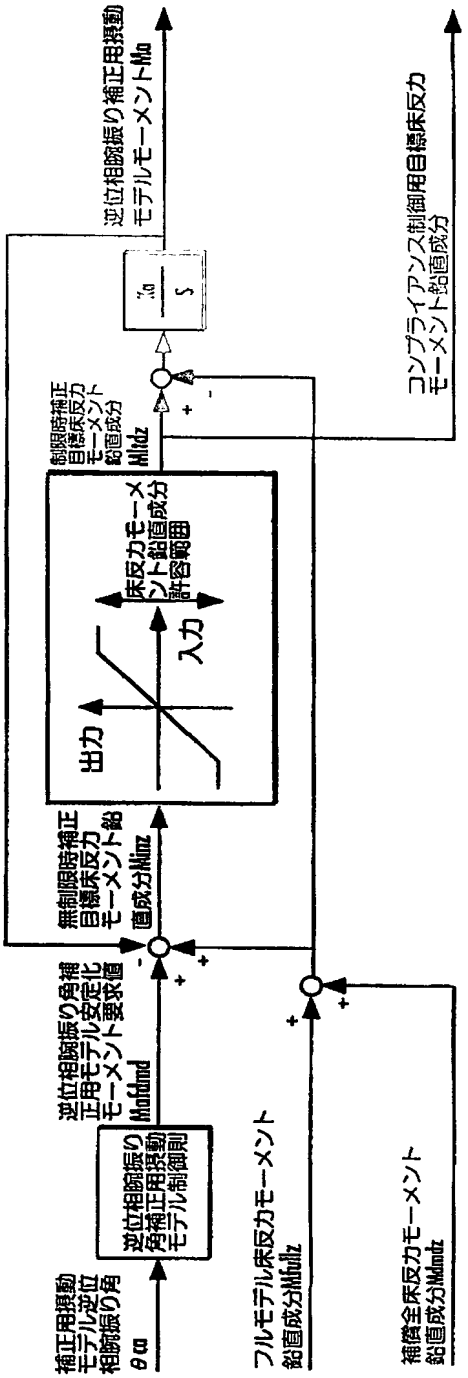
【図７９】


FIG.79
摂動モデル逆位相腕振り角補正モーメント決定部
補正用摂動モデル逆位相腕振り角θαα
逆位相腕振り角補正用摂動モデル制御則
逆位相腕振り角補正用モデル安定化モーメント要求値 Mαfdmd
無制限時補正目標床反力モーメント鉛直成分 Mlmz
出力
入力
床反力モーメント鉛直成分許容範囲
コンプライアンス制御用目標床反力鉛直成分（制限時補正目標床反力モーメント鉛直成分 Mdmdz）
逆位相腕振り補正用摂動モデルモーメントMαf
フルモデル床反力モーメント鉛直成分Mfudlz
上体水平位置補正用摂動モデルモーメントMp
補正用摂動モデル上体水平位置Xc
上体水平位置補正に起因する床反力モーメント鉛直成分摂動量の算出
上体水平位置補正に起因する床反力モーメント鉛直成分摂動量 Mpz
補償全床反力モーメント鉛直成分Mdmdz

【図８０】

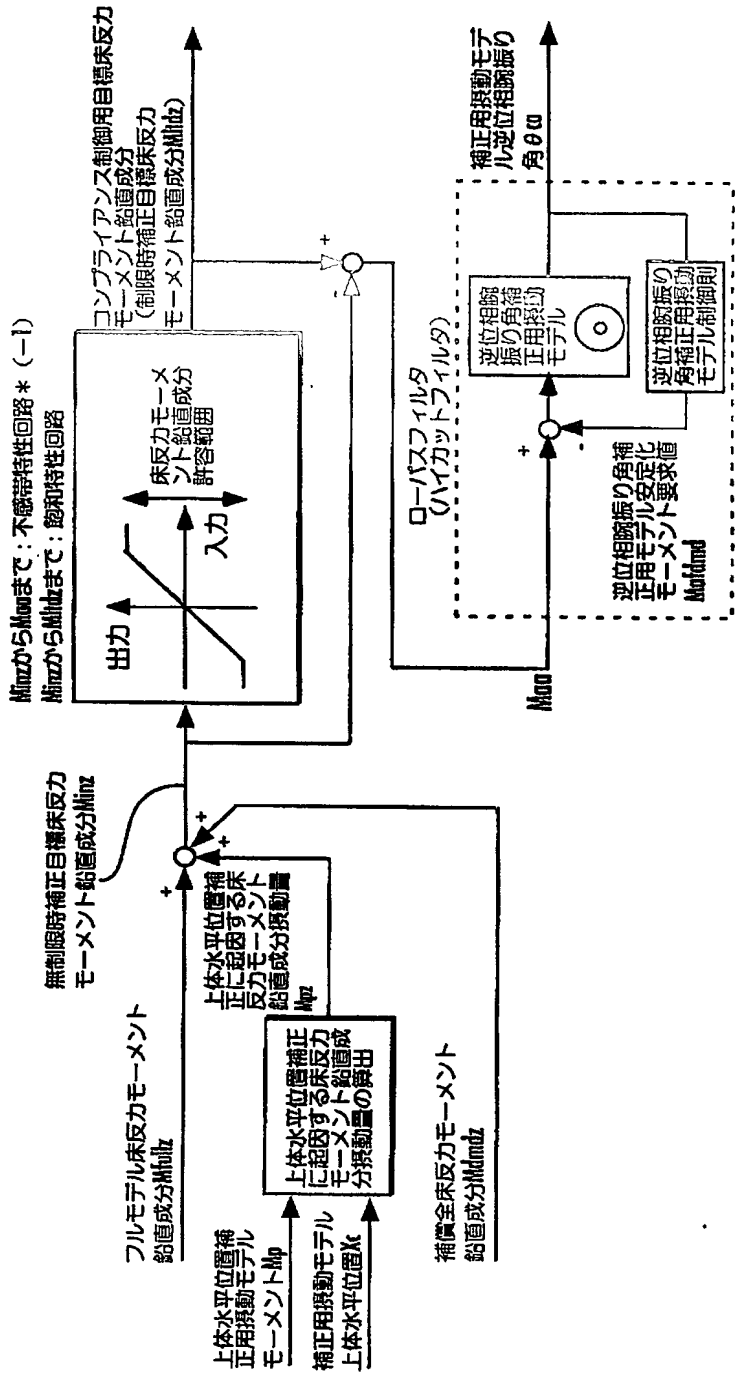
FIG.80

逆位相腕振り補正用揺動モデルモーメント決定部



【図８１】

FIG.81
摂動モデル逆位相腕振り角補正モーメント決定部



【図８２】

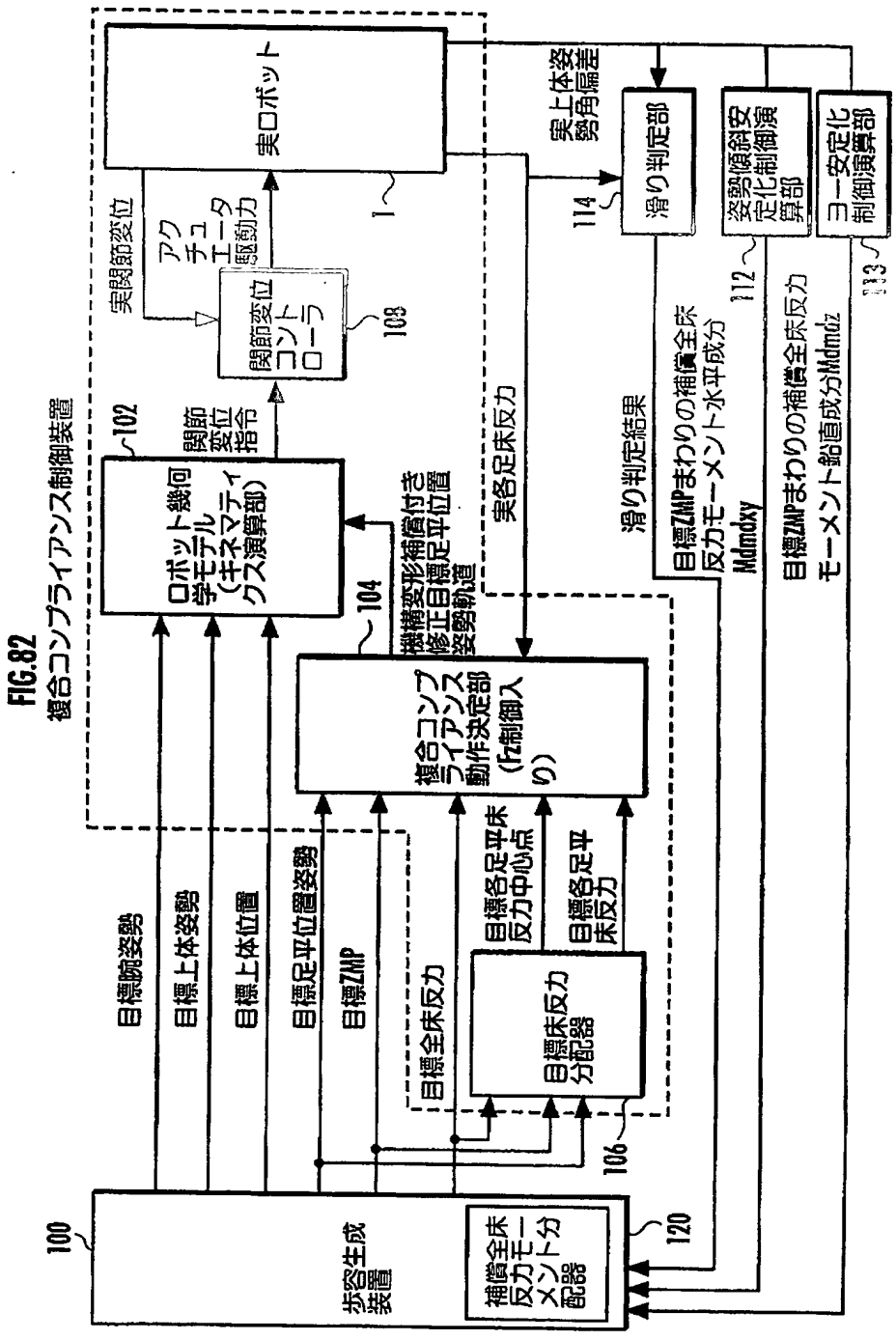
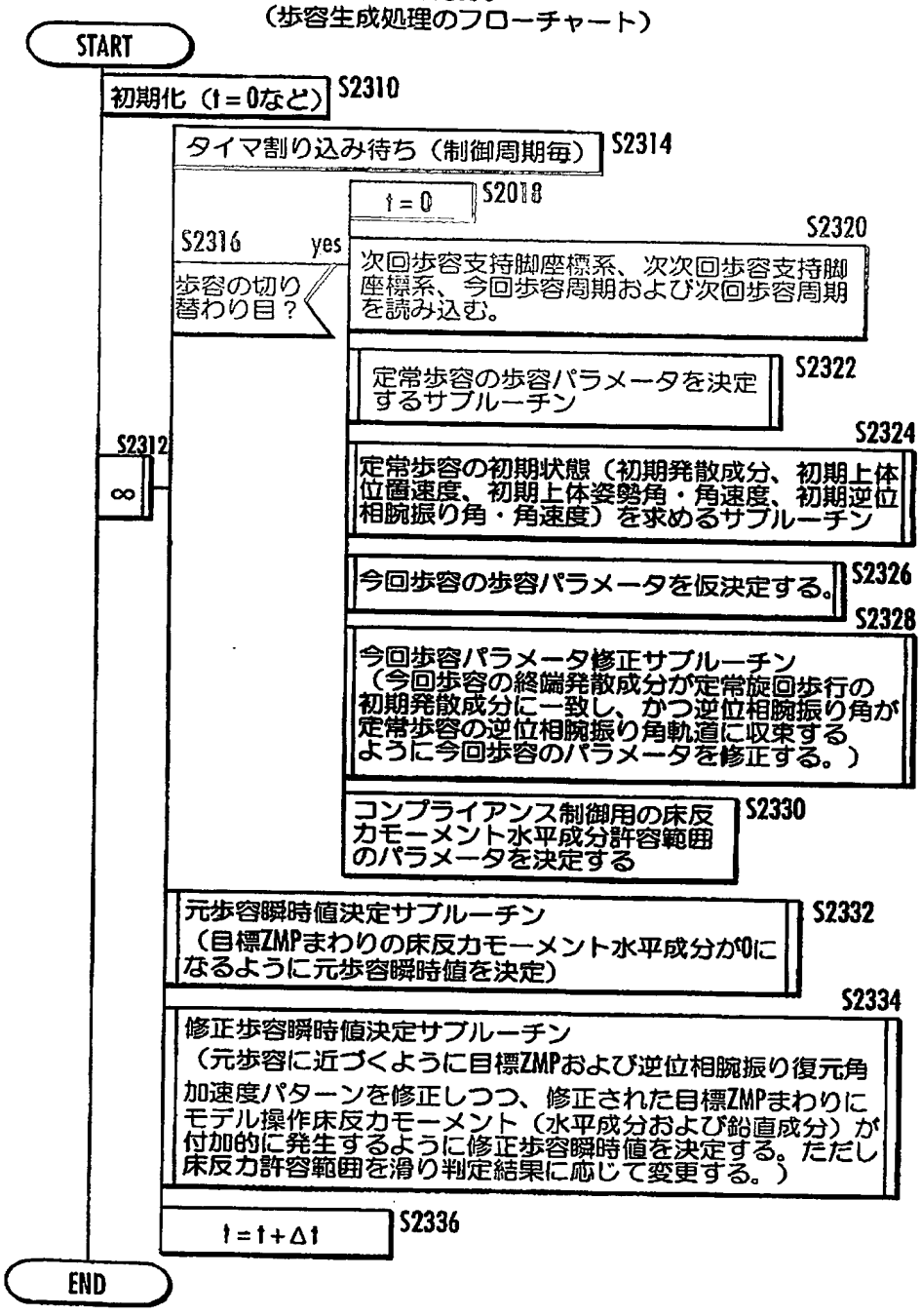


FIG.82
複合コンプライアンス制御装置

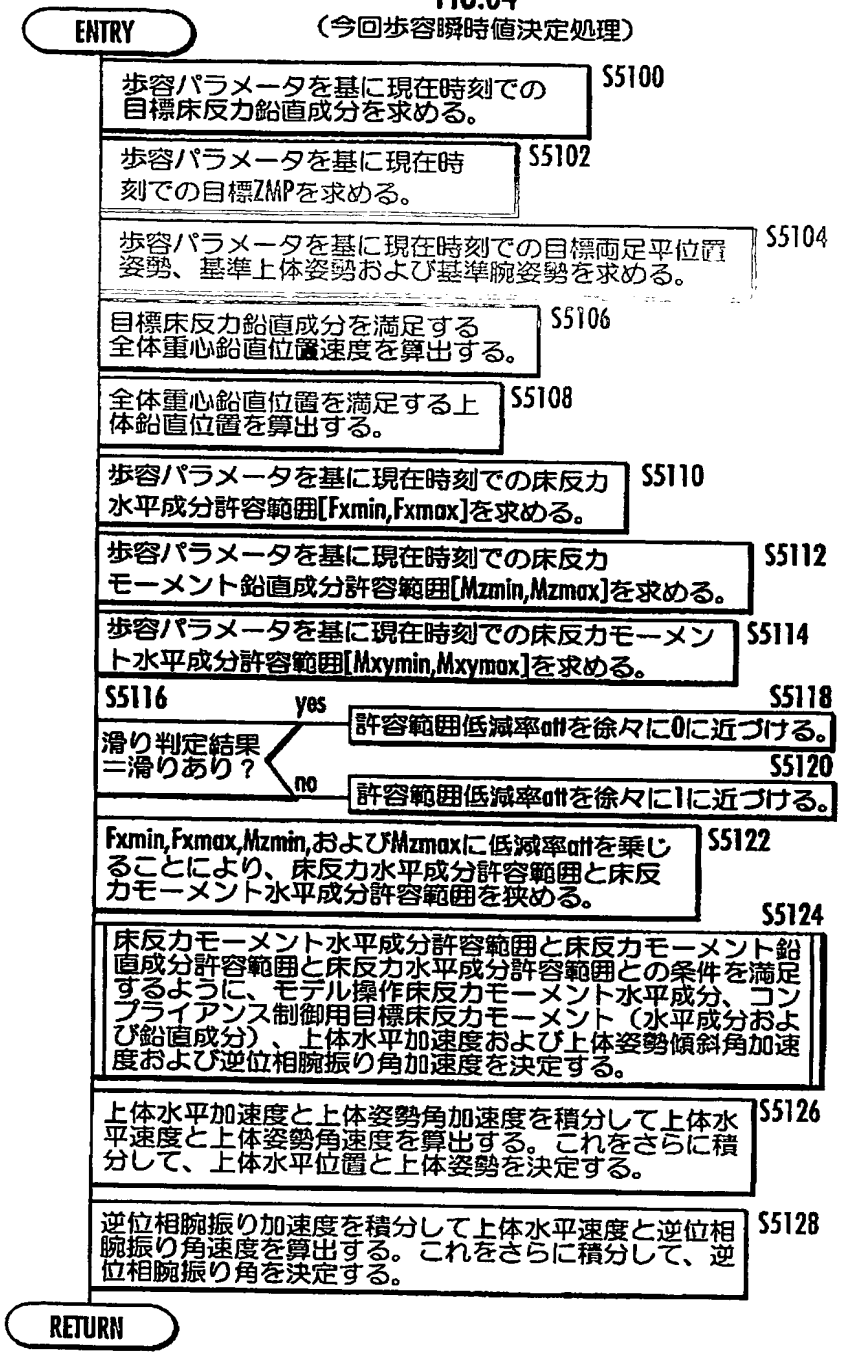
【図８３】

FIG.83
（歩容生成処理のフローチャート）



【図８４】

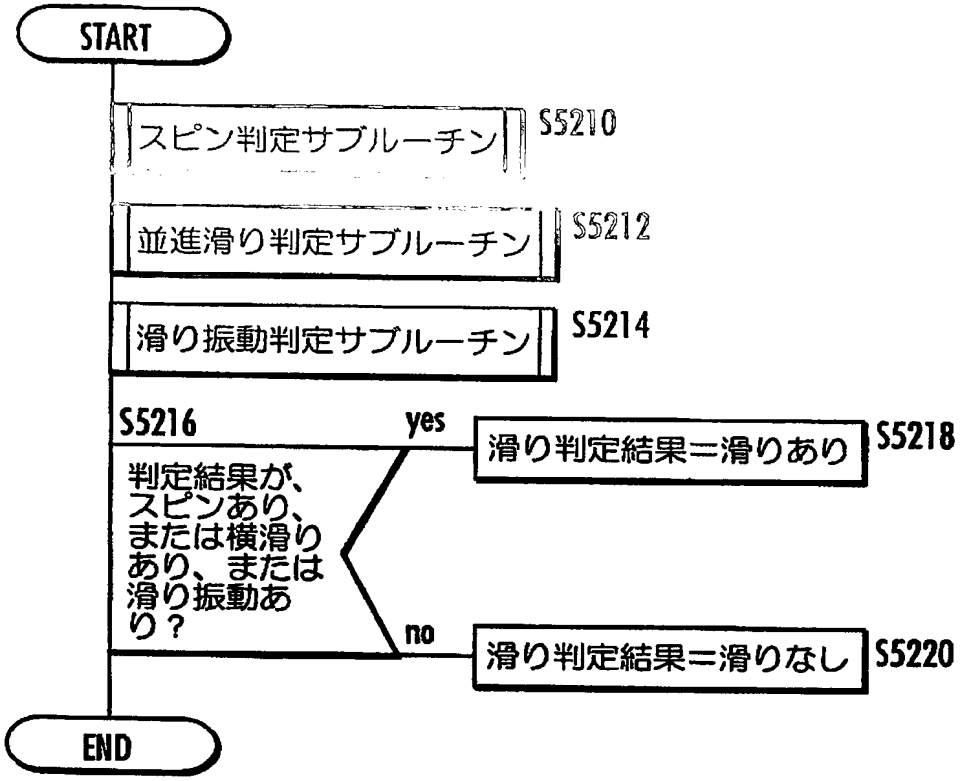
FIG.84
（今回歩容瞬時値決定処理）



【図８５】

FIG.85

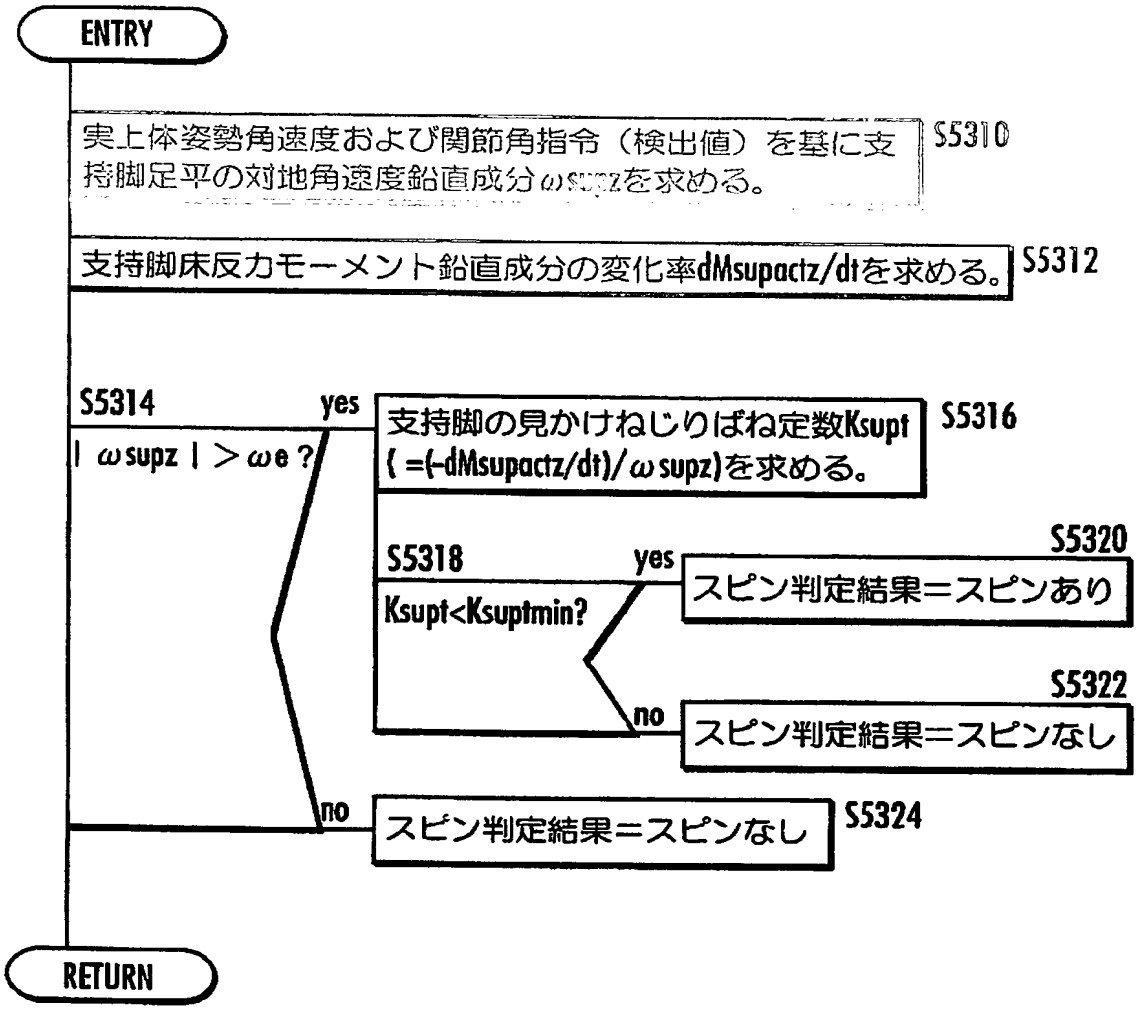
（滑り判定処理のフローチャート）



【図８６】

FIG.86

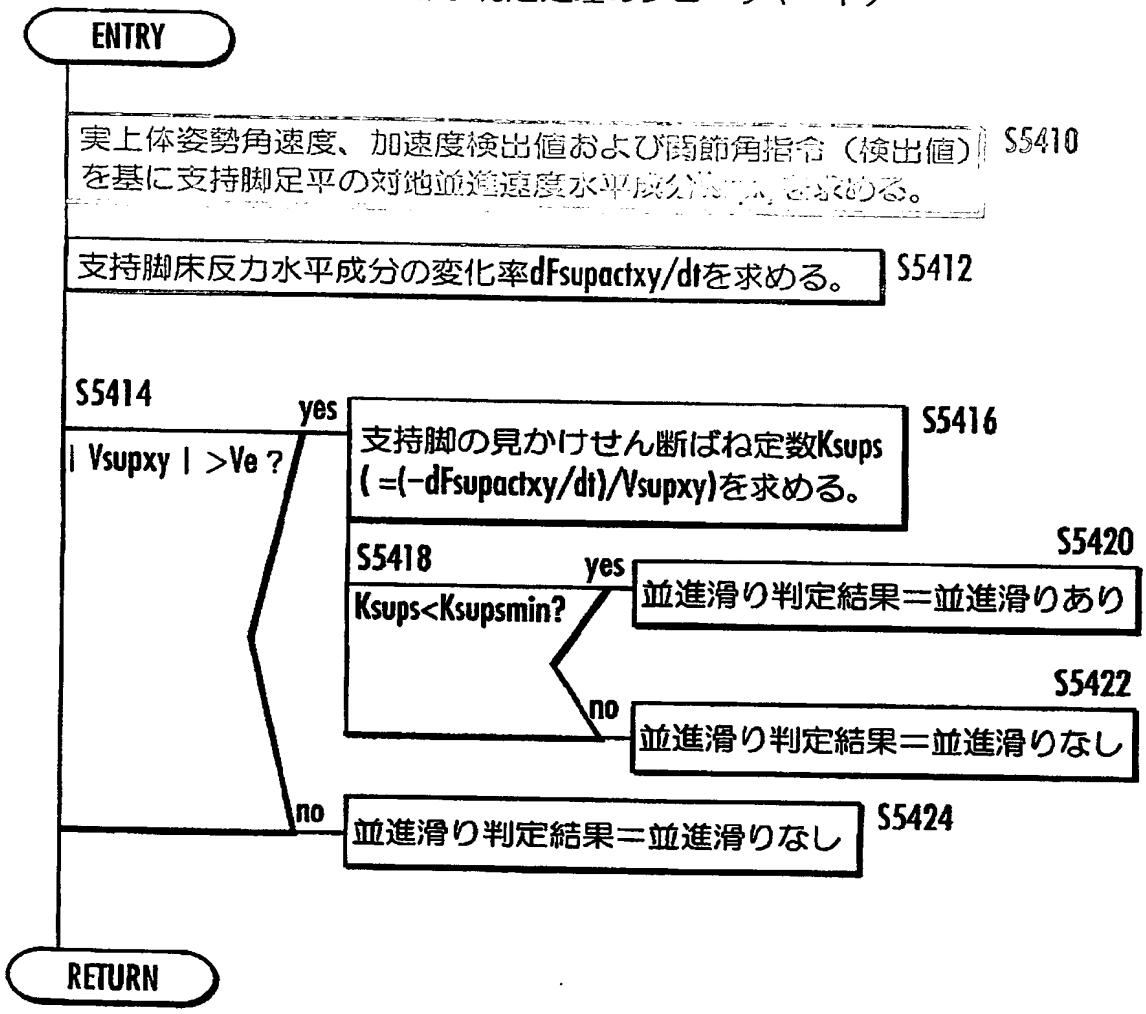
（スピン判定処理のフローチャート）



【図８７】

FIG.87

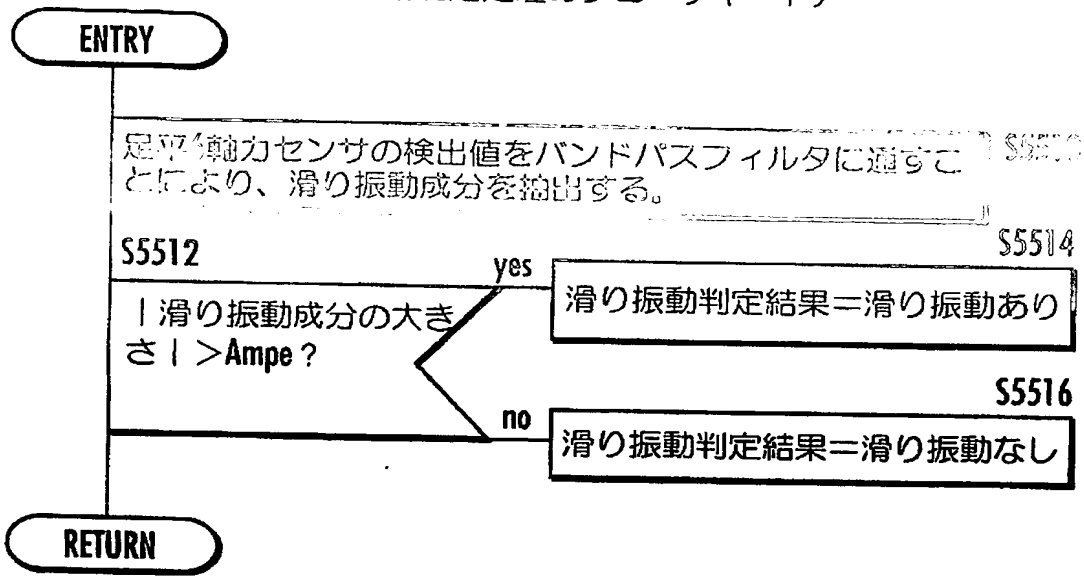
（並進滑り判定処理のフローチャート）



【図８８】

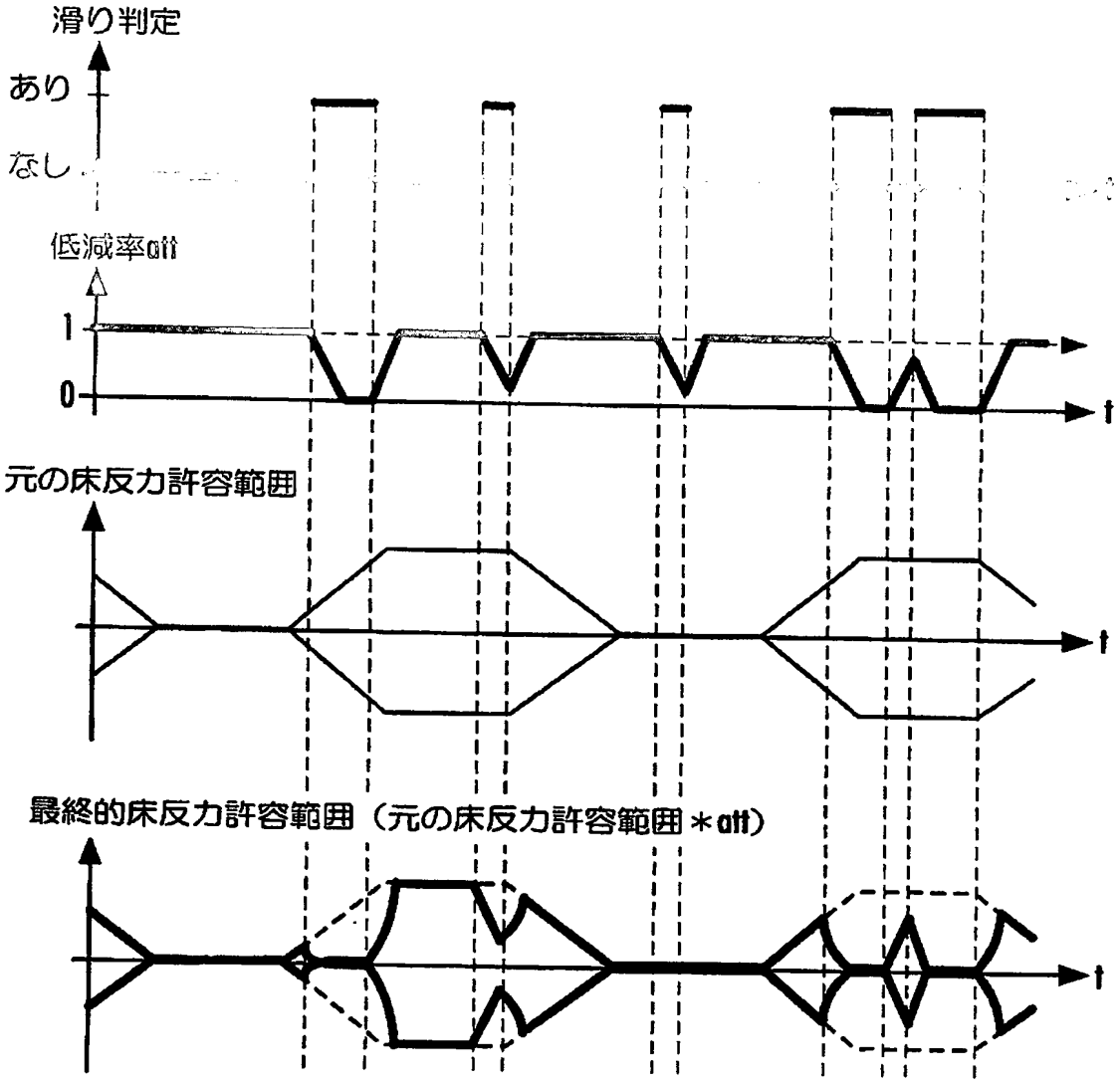
FIG.88

（滑り振動判定処理のフローチャート）



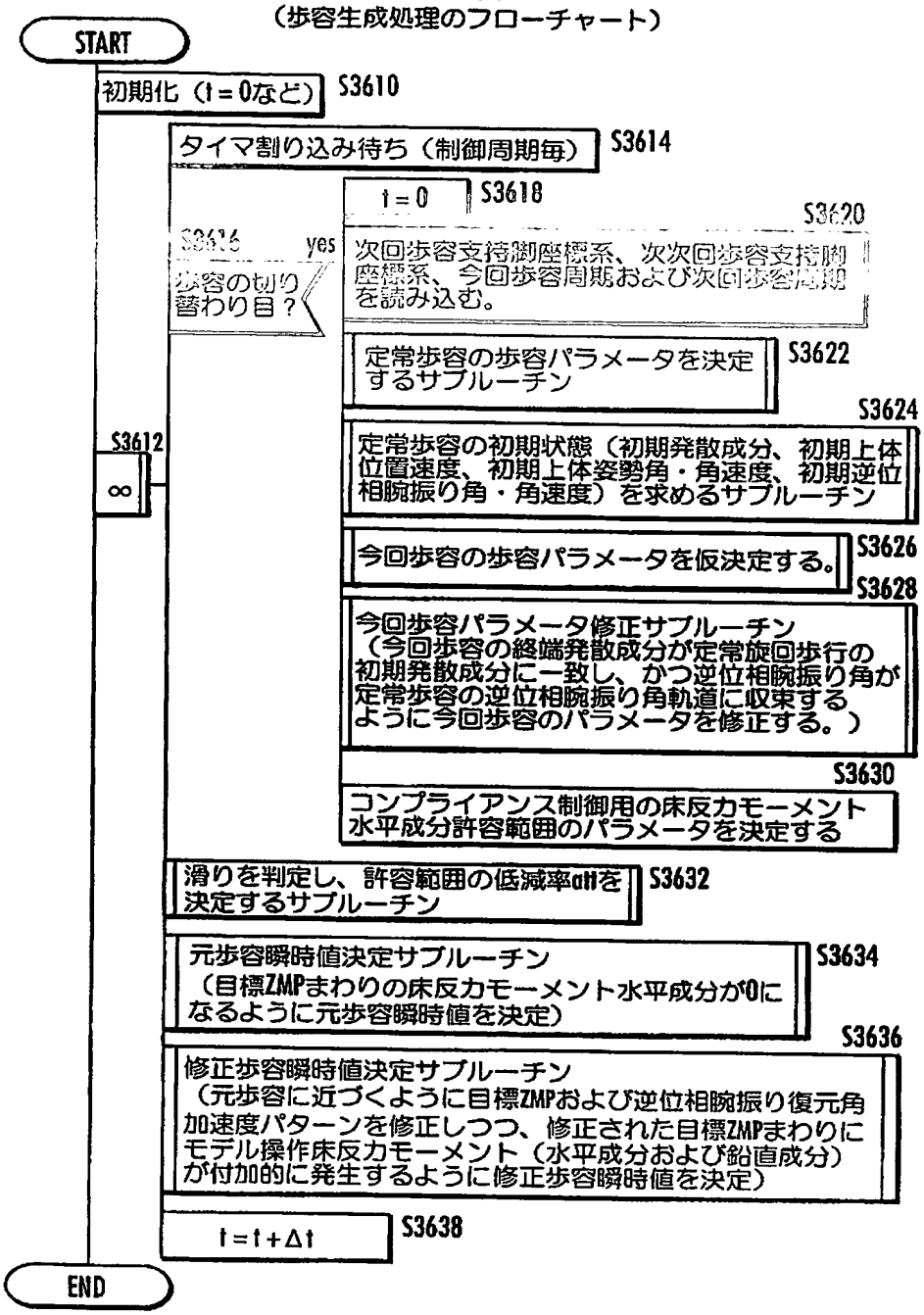
【図８９】

FIG.89


滑り判定
あり
なし
低減率αii
1
0
t
元の床反力許容範囲
t
最終的床反力許容範囲（元の床反力許容範囲＊αii）
t

【図９０】

FIG.90
（歩容生成処理のフローチャート）



【書類名】要約書

【要約】

【課題】歩行、走行等の歩容形態や床面の摩擦状態によらずに、より一層好適な歩容を生成することができる制御装置および歩容生成装置を提供する。

【解決手段】ロボット１に作用させる床反力モーメントの鉛直成分等を制限対象量として、該制限対象量の許容範囲を設定する。少なくとも鉛直軸回り又は床面法線軸回りのロボット１の姿勢に関する目標状態量とロボット１の実状態量との偏差と許容範囲とに基づいて、目標床反力に対応する制限対象量を許容範囲に収めつつ、目標運動に動力学モデル上で釣り合う床反力モーメントと目標床反力の床反力モーメントとの差が前記偏差を０に近づけるように目標運動および目標床反力の瞬時値を決定する。

【選択図】図１

特願２００３－１８５９３０

出　願　人　履　歴　情　報

識別番号　［０００００５３２６］

１．変更年月日　１９９０年　９月　６日
［変更理由］　新規登録
住　所　東京都港区南青山二丁目１番１号
氏　名　本田技研工業株式会社

This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning Operations and is not part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.
As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.